BIBLIOTHÈQUE DE L'INSTITUT SUPÉRIEUR DE PHILOSOPHIE

COURS DE PHILOSOPHIE

VOLUME VII

COSMOLOGIE

ou

Étude philosophique du monde inorganique

TOME I

Le Mécanisme, le Néo-mécanisme, le Mécanisme dynamique, le Dynamisme et l'Energétisme

PAR

D. NYS

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN

QUATRIÈME ÉDITION

LOUVAIN
EM. WARNY, ÉDITEUR

1928

SIGILL. SCHOLAE RELIGIONIS PACIFICAE
CONDITA A.D. 1924
PRO
VERITATE
ET
REGNO
DEI
CHARLES HOLBROOK LIBRARY
Pacific School of Religion

4/25

Vo. II.

COSMOLOGIE

ou

ETUDE PHILOSOPHIQUE DU MONDE INORGANIQUE

CONVENTUS
S. S. TRINITATIS
OVERVEEN (N.H.)

HOLBROOK LIBRARY
PACIFIC SCHOOL
OF RELIGION

BIBLIOTHÈQUE DE L'INSTITUT SUPÉRIEUR DE PHILOSOPHIE

COURS DE PHILOSOPHIE

VOLUME VII

COSMOLOGIE

ou

Étude philosophique du monde inorganique

TOME I

Le Mécanisme, le Néo-mécanisme, le Mécanisme dynamique, le Dynamisme et l'Energétisme

PAR

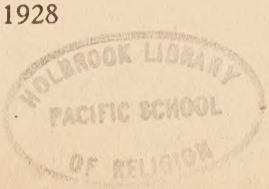
D. NYS

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN

QUATRIÈME ÉDITION

LOUVAIN
EM. WARNY, ÉDITEUR

1928



B 87622
103
C6
V.7:1

AVERTISSEMENT

L'impression de la 3me édition de cet ouvrage fut entreprise pendant les années de guerre 1914-18. Les deux premières éditions ne comportaient qu'un seul volume. La 3me édition prit tellement d'ampleur que l'auteur se vit obligé de faire paraître l'ouvrage en deux volumes.

Cette 3me édition parut à l'armistice. Elle connut un gros succès et fut rapidement enlevée. Les demandes continuèrent à affluer de toutes les parties du monde et l'auteur s'était remis au travail avec l'espoir de faire paraître une 4me édition complètement refondue.

Le tome I était quasi achevé lorsque la maladie contraignit l'auteur à abandonner tout travail. Les choses en restèrent là durant plusieurs années. La mort vint ravir le savant le 14 septembre 1927.

Pour répondre aux nombreuses demandes qui continuent à nous parvenir de toutes parts, la famille de l'auteur nous a autorisé à faire paraître une 4me édition d'après les originaux laissés par le regretté professeur.

Le tome I a été complètement remanié et augmenté par l'auteur. Quant au tome II, il n'a pas subi de changements. C'est la reproduction fidèle de la 3me édition.

L'EDITEUR.

Louvain, le 20 octobre 1927.

Digitized by the Internet Archive
in 2025 with funding from
Graduate Theological Union

https://archive.org/details/cosmologieoutude71unse

PREFACE DE LA 3e EDITION

Depuis quelques années les sciences naturelles ont réalisé des progrès inespérés. A la suite de certaines découvertes, entre autres, les rayons cathodiques et la radioactivité de la matière, des théories nouvelles ou à peine ébauchées, telle la théorie électronique, ont pris un développement considérable et semblent même destinées à conquérir les sympathies de la généralité des savants. Mais ces théories qui nous montrent dans l'atome chimique tout un monde de particules où la nature paraît avoir emmagasiné des réserves prodigieuses d'énergie électrique et calorifique, présentent un très vif intérêt pour le cosmologue ; elles touchent aux problèmes les plus délicats de la cosmologie, notamment à celui de l'individualité et de la constitution essentielle des éléments ultimes de la chimie.

En même temps que la matière nous révélait son étonnante complexité et sa non moins étonnante virtualité, le mécanisme traditionnel subissait aussi une évolution importante. Sous l'influence du positivisme, des théories pragmatistes et phénoménalistes, il se dépouillait peu à peu de son caractère dogmatique et métaphysique pour revêtir une forme plus adaptée à l'esprit général des sciences. Il devint phénoménaliste, et sous le nom de néo-mécanisme il se substitua, chez bon nombre de physiciens, au mécanisme cartésien.

De son côté, l'énergétique qui peut se réclamer des plus beaux noms de la science actuelle, orientait la théorie scientifique dans une voie tout opposée. Indifférente, en principe, à toutes les questions qui regardent la nature intime de la matière et de ses phénomènes, adversaire décidée de toute hypothèse, respectueuse de toutes les données expérimentales, elle semblait devoir rester complètement étrangère aux spéculations d'ordre métaphysique. Malheureusement, cette précieuse méthode scientifique subissait chez plusieurs de ses partisans des déviations graves qui l'ont conduite au monisme, au phénoménalisme, et même à la suppression de la matière, autant de doctrines dont la cosmologie ne peut se désintéresser.

Le champ de la philosophie de la nature, déjà si vaste, s'est donc considérablement élargi.

Pour accorder à ces doctrines et théories nouvelles la place

qui leur convient, nous avons cru nécessaire de répartir en deux volumes la matière cosmologique.

Le premier volume est consacré à l'exposé et à l'étude des systèmes autres que la théorie scolastique ; il comprend d'abord les formes diverses du mécanisme : le mécanisme traditionnel ou cartésien, le néo-mécanisme et le mécanisme dynamique ; ensuite, le dynamisme pur et l'énergétique qui s'y rattache.

L'examen détaillé de ces systèmes nous montrera la part de vérité et d'erreur qu'ils contiennent ; et en recueillant au cours de la route les éléments épars qui nous paraîtront comme autant d'expressions fragmentées de la vérité, nous arriverons à une conception synthétique de la matière où se retrouveront, croyons-nous, les données fondamentales de la théorie scolastique.

Le présent volume se présentera de la sorte comme une introduction, une sorte d'initiation tirée des faits eux-mêmes, au système aristotélicien.

A raison de son importance, du nombre et de l'ampleur des problèmes qu'il soulève, le système aristotélicien ou scolastique sera l'objet d'un volume spécial.

D'ailleurs, cette dernière partie de notre travail a reçu, elle aussi, des modifications importantes. Nous y avons ajouté une étude développée des forces physico-chimiques, des lois naturelles et des principes scientifiques, ainsi qu'un chapitre nouveau relatif au mixte inorganique. La doctrine du mixte ayant été remise en question à la suite des progrès des sciences, il était nécessaire de faire connaître les opinions actuelles des cosmologues sur ce problème, les faits dont chacun se réclame, les conclusions qui paraissent jaillir du débat.

D. NYS.

AVANT-PROPOS

La constitution physique de la matière d'après les physiciens modernes

Bien que la cosmologie se différencie par sa méthode et son but des sciences naturelles, elle s'en montre cependant tributaire dans une large mesure. Elle est une métaphysique, mais en continuité avec les sciences physiques. Sans doute, elle s'intéresse surtout aux *faits* scientifiques, mais elle ne saurait rester indifférente à l'égard de ces *théories* qui, à une époque donnée, semblent dominer tout le domaine de la science.

Parmi ces théories dont les promesses d'avenir paraissent exceptionnelles, au moins s'il faut en croire la plupart des physiciens, nous devons signaler la théorie électronique.

Avant d'aborder l'étude philosophique du monde minéral, nous exposerons donc sous forme d'introduction, les idées des physiciens modernes sur la constitution *physique* de la matière.

Au surplus, grâce à cet exposé préliminaire, le lecteur pourra comprendre, sans peine, le résumé forcément très succinct que nous aurons à faire parfois, au cours de ce traité, de certains faits et hypothèses relatifs à la théorie régnante.

ARTICLE PREMIER

La réalité de l'atome chimique.

1. L'atome est-il une réalité ? — Depuis plus d'un demi-siècle la théorie atomique occupe une place considérable dans les sciences naturelles. Pour tous les chimistes et physiciens actuels, le corps simple est un agrégat d'atomes, c'est-à-dire de particules *chimiquement* insécables, d'une petitesse inimaginable, dépositaires cependant des propriétés caractéristiques du corps que ces particules représentent. En un mot, les atomes constituent les vraies individualités chimiques du corps simple.

Quant au composé, on le considère comme le résultat de la combinaison des atomes de plusieurs corps simples, en sorte que toutes les propriétés de la matière sont censées tirer leur origine immédiate ou lointaine des individualités atomiques.

On comprend dès lors le grand intérêt qui s'attache, dans la chimie moderne, à l'étude des caractères distinctifs de ces unités élémentaires, notamment du poids atomique, de l'affinité, de l'atomicité ou valence. A l'heure présente, ces diverses questions dominent encore la chimie théorique et se trouvent au premier plan des recherches scientifiques.

Malgré les immenses services rendus à la science par la théorie atomique, l'atome était resté, jusqu'en ces dernières années, une entité hypothétique. L'hypothèse se conciliait avec un nombre considérable de faits, elle en donnait une explication simple et commode, mais on n'était point parvenu à prouver d'une manière décisive l'existence des masses atomiques, moins encore à en exprimer la grandeur absolue. Les sciences semblent avoir résolu récemment ce délicat problème et assuré le triomphe définitif de la doctrine atomistique. Plus de treize méthodes différentes ont été employées pour la détermination des grandeurs moléculaires. Souvent même les phénomènes observés sont complètement indépendants les uns des autres; tels sont, par exemple, la viscosité des gaz, le mouvement brownien, la radioactivité de la matière, le bleu du ciel, le spectre du corps noir. Or, ces procédés si divers donnent des résultats si concordants qu'il serait téméraire de ne pas y voir l'expression de la réalité.

« On est saisi d'admiration, écrit Perrin, devant le miracle de concordances aussi précises, à partir de phénomènes si différents. Qu'on retrouve la même grandeur, d'abord à l'intérieur de chacune des méthodes, en variant autant que possible les conditions

d'expérience, et que les nombres ainsi définis sans ambiguïté par ces diverses méthodes coïncident, cela donne à la réalité moléculaire autant de certitude qu'en peuvent avoir les principes de la thermodynamique » (1). « La théorie atomique a triomphé, dit-il encore. Nombreux naguère, ses adversaires enfin conquis renoncent l'un après l'autre aux défiances qui longtemps furent légitimes et sans doute utiles. C'est au sujet d'autres idées que se poursuivra désormais le conflit des instincts de prudence et d'audace dont l'équilibre est nécessaire au lent progrès de la science humaine » (2).

H. Poincaré, dont on connaît l'esprit critique et la prudente réserve, n'est pas moins catégorique. « Les anciennes hypothèses mécanistes et atomistes ont pris, dit-il, dans ces derniers temps, assez de consistance pour cesser presque de nous apparaître comme des hypothèses ; les atomes ne sont plus une fiction commode ; il nous semble que nous les voyons, depuis que nous savons les compter... l'atome du chimiste est maintenant une réalité » (3).

Enfin, citons encore l'opinion d'un physicien de marque. « A aucun moment de l'histoire de la physique, écrit M. Bloch, les idées atomistiques n'ont joui d'une pareille faveur. La théorie atomique... de la matière, vieille de bien des siècles, est aussi la plus solide et ne nous semble plus susceptible aujourd'hui que de retouches de détail » (4).

A nous en tenir aux témoignages des physiciens modernes et plus encore à la concordance irrécusable de leurs preuves, l'existence des atomes, leur nombre, la détermination de leur poids absolu et de leur grandeur, s'imposent comme autant de faits définitivement acquis à la science.

---

(1) PERRIN, *Les preuves de la réalité moléculaire*, p. 52 (Les idées modernes sur la constitution de la matière). Paris, Alcan, 1913.

(2) PERRIN, Les atomes, p. 321. Paris, Alcan, 1924.

(3) HENRI POINCARÉ, *Les rapports de la matière et de l'éther*, pp. 357-359 (Les idées modernes). Paris, Alcan, 1913.

(4) E. BLOCH, *La théorie électronique des métaux*, p. 148 (op. cit.), Paris, Alcan, 1913.

ARTICLE II

La constitution de l'atome chimique

2. L'atome est un être complexe. La théorie électronique. — Mais ces masses atomiques dont la petitesse défie les plus puissantes imaginations, constituent-elles les éléments ultimes de la matière ?

On serait tenté de le croire, quand on pense que, d'après les mesures les plus exactes, un centimètre cube d'air, pris dans les conditions normales, c'est-à-dire à la température de zéro degré et sous la pression d'une colonne de mercure de 76 centimètres de hauteur, contient trente milliards de molécules (5). Cependant il n'en est rien. Sans doute, pour le chimiste, l'atome constitue la vraie individualité du corps simple et continue à mériter son nom qui signifie insécable. C'est toujours lui, en effet, qu'on retrouve au terme des transformations de la matière et dans l'analyse chimique avec ses propriétés foncières et sa masse inchangée(6). Néanmoins, tous les hommes de science admettent aujourd'hui que l'atome est un édifice complexe susceptible d'être disloqué soit par certains rayonnements spontanés qui caractérisent la radioactivité, soit par des moyens divers dont dispose le physicien.

3. Faits qui révèlent la complexité de l'atome chimique. — Parmi les faits qui révèlent cette complexité, il en est un, d'une importance exceptionnelle, connu sous le nom de *radioactivité*.

Pour des causes encore inconnues, l'équilibre interne du petit édifice atomique se brise ; les corpuscules essentiels positifs ou négatifs sont projetés dans l'espace et l'atome lui-même se trouve désagrégé. « Les corps radioactifs, écrit Mme Curie, doivent être considérés surtout comme des sources de projectiles, lancés à la suite de cataclysmes internes, analogues à des explosions, qui entraînent la destruction de l'édifice atomique. Ces projectiles représentent les fragments d'atomes résultant de la transformation ;

---

(5) PERRIN, *Les atomes*, p. 118. Paris, Alcan, 1913.

(6) Mme CURIE, *L'isotopie et les isotopes*, p. 124. Paris, Blanchard, 1924. « Le poids atomique chimique, dit cet auteur, est invariable, quelle que soit la provenance du corps... » « Les poids atomiques chimiques peuvent être considérés comme des nombres constants. » Et ailleurs, « il est évident, d'après celà, que les poids atomiques moyens des chimistes conservent une signification précise, dont l'importance augmente, en raison du fait qui paraît général, de la composition isotopique constante de matières de provenances diverses », p. 199. Le plomb, semble-t-il, fait exception à cette règle.

ils possèdent, au moment de celle-ci, des vitesses plus ou moins grandes qui leur permettent de s'éloigner de leur point de départ à des distances plus ou moins importantes » (7).

4. Quels sont les constituants atomiques dont on a observé la séparation, dans les phénomènes radioactifs ? — Ils se divisent en trois catégories qu'on désigne d'ordinaire par les lettres grecques α, β, γ.

1° Le rayonnement ß se caractérise par l'émission de particules, appelées électrons négatifs. Ces particules portent chacune une charge minima d'électricté négative et constituent de vrais atomes d'électricité. Les plus rapides sont douées d'une vitesse voisine de celle de la lumière, et possèdent un pouvoir de pénétration considérable, qui leur permet de traverser, par exemple, une lame d'aluminium de 7 millimètres d'épaisseur. Un de leurs caractères les plus intéressants est l'invariabilité de leur charge électrique et leur identité essentielle, quelle que soit leur origine, quelles que soient les circonstances où elles prennent naissance. Leur masse est une fonction croissante de la vitesse : elle est sensiblement constante pour des vitesses qui ne dépassent pas 60 à 80 mille kilomètres à la seconde. Au delà, elle croît assez rapidement et deviendrait même infinie si les corpuscules pouvaient atteindre la vitesse de la lumière. Dans l'état actuel de la science, ces corpuscules représentent les derniers degrés d'atténuation de la matière ; pour des vitesses faibles, leur masse est environ 1833 fois plus petite que celle d'un atome d'hydrogène.

2° Les rayons α sont formés de particules chargées positivement. En fait, ces corpuscules α ne sont autre chose que des atomes d'hélium qui ont perdu deux électrons et portent par conséquent deux électrons positifs ; leur quantité d'électricité positive est donc double de la charge élémentaire. L'identité des particules α avec des atomes d'hélium chargés a été l'objet d'une vérification directe. Il a été prouvé, en effet, qu'une paroi matérielle, qui avait reçu et absorbé des rayons α, dégageait ensuite le gaz hélium qui y avait pénétré, grâce à la grande vitesse de ses atomes.

On distingue actuellement plus de 20 groupes de rayons α identiques au point de vue de la nature de leurs particules, mais différents par leur vitesse d'émission et leur parcours, c'est-à-dire, la distance déterminée qu'ils peuvent parcourir dans l'air sous la pression atmosphérique.

3° Les émissions de particules α et ß, dont il vient d'être question, constituent les phénomènes primaires de la radio-activité. Mais on trouve aussi, dans le rayonnement, des particules beau-

---

(7) Mme CURIE, *Sur les rayonnements des corps radioactifs*, p. 273 (op. cit.). Paris, Alcan, 1913.

coup plus grosses résultant des transformations successives subies par les éléments primaires : l'uranium, le thorium et l'actinium. Au cours de ces transformations, deux cas peuvent se présenter. Il arrive qu'une particule α se trouve lancée dans l'espace avec une très grande vitesse, tandis que l'atome résiduel, soumis à un mouvement de recul, est lancé en sens inverse avec une vitesse beaucoup moins grande. Dans cette explosion, l'atome chimique est brisé en deux fragments : l'un est relativement petit, c'est l'atome d'hélium qui constitue le rayonnement α. L'autre est la partie restante de l'atome primitif. D'ordinaire, elle est beaucoup plus grosse que l'atome d'hélium et chargée d'électricité positive ; elle forme l'atome d'une espèce chimique nouvelle, telle l'émanation, le polonium, etc. Grâce au mouvement de recul qui lui a été imprimé par l'émission de la particule α, elle peut donner lieu à un rayonnement spécial.

Dans d'autres cas, les transformations s'accompagnent non plus d'une émission de rayons α mais bien de rayons ß chargés d'électricité négative. L'atome radioactif, en perdant un de ses électrons négatifs dont la masse est presque inappréciable, voit se modifier ses caractères distinctifs, mais conserve son poids atomique. L'émission de cette particule ß imprime aussi à l'atome résiduel positif un mouvement de recul peu rapide.

En résumé, ces deux sortes de rayonnement sont la conséquence de l'émission des particules ß et α ; ils comprennent des atomes divers, de grande masse, chargés positivement (8).

4° Enfin, on distingue dans le rayonnement total de la matière, une espèce de rayons, appelés rayons γ. Ils ne présentent pas de caractère électrique, et ne sont point déviés par les aimants. Ils se signalent aussi par leur grande vitesse qui leur donne un pouvoir pénétrant considérable ; ils peuvent même traverser une lame de métal de 20 ou 30 centimètres d'épaisseur.

Ces rayons sont-ils réellement corpusculaires, c'est-à-dire formés de projectiles enlevés aux atomes et lancés dans l'espace ?

Non, ils sont de même nature que les rayons X dont il sera question bientôt, mais leurs longueurs d'onde sont souvent plus faibles. Ils résultent des perturbations provoquées dans l'atome par l'expulsion des électrons qui constituent les rayons ß. On ne les regarde donc pas comme un phénomène primaire dans le fait de la radioactivité, mais comme un effet du rayonnement ß (9). Au surplus, leur énergie ne compte que quelques pour cent dans l'énergie du rayonnement total.

---

(8) Mme Curie, *op. cit.*, pp. 276-277.

(9) Nernst, *Traité de chimie générale*, 1re partie, p. 472. Paris, Hermann, 1911. — Mme Curie, *loc. cit.*, p. 277. — Righi, *La nature des*

5. Radioactivité et rayons cathodiques. — Des rayonnements analogues à ceux qu'on découvre dans la radioactivité spontanée de la matière se produisent dans les ampoules à vide de Crookes. Lorsqu'on fait passer des décharges électriques dans l'atmosphère suffisamment raréfiée d'une ampoule de verre munie de deux électrodes, l'une négative, la cathode, l'autre positive, l'anode, il se produit à la cathode une émission de rayons dits *cathodiques*, déviables à l'approche d'un aimant et reconnaissables à la lumière qu'ils excitent en frappant diverses substances. Ces rayons cathodiques sont constitués de particules matérielles, électrisées négativement, douées d'une masse qui est approximativement la 1833e partie de la masse atomique de l'hydrogène électrolytique. Quel que soit le corps gazeux raréfié soumis à cette expérience, les corpuscules des rayons cathodiques ont toujours, pour de faibles vitesses, la même masse et la même charge constante d'électricité négative. Ces premiers produits de la désintégration atomique sont donc indépendants de la nature de la substance.

Il se forme aussi dans l'ampoule de Crookes une seconde espèce de rayons désignés sous le nom de rayons X ou Röntgen. Ces rayons prennent naissance lorsque les rayons cathodiques rencontrent un obstacle. Ils se propagent en ligne droite sans se réfracter, sans se polariser et restent insensibles à l'action d'un aimant. Ils ne transportent pas de charge électrique, mais possèdent le pouvoir de traverser des corps opaques.

Enfin l'ampoule de Crookes donne lieu à la production d'une troisième sorte de rayons dont les particules sont chargées d'électricité positive ; on les appelle les rayons-canaux.

Entre ces trois sortes de rayons obtenus par des décharges électriques dans les conditions indiquées plus haut et les trois espèces de rayons découverts dans les phénomènes de radioactivité spontanée, il n'y a pas de différence essentielle. Les rayons ß sont des électrons négatifs en mouvement comme les rayons cathodiques ; leurs particules constitutives sont les mêmes, avec cette différence que la vitesse des premiers est d'ordinaire beaucoup plus grande que celle des seconds, bien qu'on puisse rencontrer entre les deux sortes de rayons toutes les vitesses intermédiaires.

Les rayons α et les autres atomes projetés avec une charge positive sont analogues aux rayons-canaux, avec cette même différence que ces derniers ont une vitesse et une énergie beaucoup moins grandes que les premiers.

Enfin les rayons γ possèdent les propriétés des rayons Röntgen. La principale différence à établir entre eux est une différence

---

rayons X (Scientia, 15e vol. n° 33-1, pp. 30-39, 1914). — BERTHOUD, *Les nouvelles conceptions de la matière et de l'atome,* p. 151. Paris, Doin, 1923.

de vitesse et de pouvoir pénétrant. Les rayons Röntgen ne traversent guère un millimètre de plomb, tandis que les autres traversent aisément des lames de 20 centimètres de métal (10).

6. Classification des substances radioactives en familles. — La radioactivité, entraînant avec elle une certaine dislocation de l'atome, doit naturellement donner naissance à des corps nouveaux. Comment les classer ?

Cette classification peut se faire de différentes manières. On peut d'abord les distribuer en plusieurs familles caractérisées chacune par leur substance mère. Dans chaque famille les substances dérivent les unes des autres à la suite de transformations successives et chacune de ces substances doit être considérée comme un corps chimique distinct. Chacune d'elles émet une ou plusieurs espèces de rayons déterminés et possède une vie moyenne caractéristique. On entend par *vie moyenne* le temps nécessaire pour que la moitié de la substance considérée soit transformée en une autre substance. Une première famille dérive de la substance mère appelée uranium. Les descendants de l'uranium s'étendent jusqu'au Plomb en passant par le radium.

Une seconde famille a pour souche le thorium et comprend toutes les espèces de thorium.

Une troisième famille se rattache à l'actinium, mais il est très probable que l'actinium dérive lui-même de l'uranium. Un descendant de ce corps, l'uranium II peut se désintégrer en deux directions différentes : dans la proportion de 8 % ses atomes paraissent former l'uranium γ qui à son tour donnerait naissance au protoactinium, substance mère de l'actinium et de sa famille. Et dans la proportion de 92 %, les atomes de l'uranium II subissent une transformation à rayons α qui aboutit à l'ionium et à la série du radium (11).

Voici, d'après différentes auteurs, le tableau des principaux corps radioactifs, avec l'indication de leur vie moyenne et de leur rayonnement.

I. — Famille de l'uranium.

	Rayonnement	Vie moyenne
Uranium	α	5 milliards d'années
Uranium X_1	β	24 jours
Uranium X_2	$\beta\gamma$	1,15 minutes.
Uranium II	α	10 millions d'années

(10) M^me^ Curie, *Sur les rayonnements des corps radioactifs*, p. 278. — Nernst, *op. cit.*, p. 472. — Cf. A. Righi, *La nature des rayons X (Scientia*, B, 15, N° 33-1, pp. 30-39, 1914). — Perrin, *Les atomes*, pp. 268-269, Paris, Alcan, 1924.

(11) Aston, *Les isotopes*, p. 17. Paris, Hermann, 1923. — M^me^ Curie, *L'isotopie et les isotopes*, p. 48. Paris, Blanchard, 1924.

Ionium	α	100.000 ans.
Radium	αβ	1600 ans.
Emanation du radium	α	3,85 jours
Radium A	α	3 minutes.
Radium B	βγ	27 minutes.
Radium C	βγ	19 minutes.
Radium C'	α	très courte.
Radium D	β	16 ans.
Radium E	βγ	5 jours
Polonium	α	140 jours
Plomb ?		

II. — Famille du Thorium.

	Rayonnement	Vie moyenne
Thorium	α	15 milliards d'années
Mésothorium I	?	6,7 ans
Mésothorium II	βγ	6,2 heures
Radio-thorium	α	2 ans
Thorium X	αβ	3,64 jours
Emanation du thorium	α	54 secondes
Thorium A	α	0,14 seconde
Thorium B	β	10,6 heures
Thorium C	β = (Thorium C')	très courte
	α = (Thorium C")	3,1 min. (12)

Famille de l'Actinium.

	Rayonnement	Vie moyenne
Protoactinium	α	12.000 ans
Actinium	?	20 ans
Radio-actinium	αβ	19 jours
Actinium X	α	11,2 jours
Emanation de l'actinium	α	3,9 secondes
Actinium A	α	0,002 seconde
Actinium B	β	36,1 minutes
Actinium C	β =	très courte
	α =	4,7 minutes (13).

Elémemts non classés (14).

Potassium	β	Vie moyenne inconnue mais très supérieure à celle du thorium.
Rubidium	β	

(12) Le thorium C subit un double rayonnement, l'un à rayons ß qui engendre le thorium C', l'autre à rayons α qui donne naissance au thorium C".

(13) L'actinium C subit, comme le thorium C, un double rayonnement qui aboutit aux deux actiniums C' et C".

(14) On ne connaît pas leurs produits de transformation. D'après les lois de déplacement, le potassium devrait se transformer en calcium

Pour se rendre compte de ce tableau, il faut se rappeler que les transformations radioactives se répartissent en deux classes : les unes se font avec émission de particules α qui ont la grandeur de l'atome d'hélium ; les autres ont lieu sans émission de particules α. Dans toutes les transformations de la première catégorie, le poids atomique de l'atome résiduel est plus petit que celui de l'atome primitif et la diminution doit être égale au poids atomique de l'hélium ou à un multiple exact de ce poids. Au contraire, il n'y a pas de changement de poids si l'émission ne comporte que des particules ß ou des rayons γ.

En examinant la nature du rayonnement propre à chaque substance radioactive d'une famille donnée, on peut donc déduire le poids atomique de ces différentes substances du poids atomique de la substance mère. Dans la famille uranium-radium, on constate en effet que la radium de poids atomique 226, donne naissance, en perdant une particule α, à l'émanation, de poids atomique 222. A son tour, celle-ci perd une particule α et donne naissance au radium A, de poids atomique 218. En subissant le même rayonnement, le radium A engendre le radium B de poids atomique 214.

Par contre, le radium B perd une particule ß et devient du radium C qui conserve le poids atomique de son générateur, 214.

7. Classification des substances radioactives en groupes d'isotopes. — Parmi les nombreux radioéléments, il en est quelques-uns qui représentent des types chimiques nouveaux, tandis que beaucoup d'autres se rattachent à des types chimiques antérieurement connus, dont ils possèdent toutes les propriétés. Les éléments à individualité chimique nouvelle qui sont venus occuper les places vides de la classification périodique sont au nombre de 5 : le radium, son émanation appelée aussi radon, le polonium, l'actinium, et l'uranium X_2 (ou bien le protoactinium.)

Tous les autres radioéléments ont des propriétés chimiques et même physiques extrêmement voisines de celles d'autres éléments déjà contenus dans le système périodique, notamment dans les deux dernières rangées s'étendant du thallium à l'uranium. En se basant sur cette analogie étroite ou mieux sur cette identité des propriétés, on a pu distribuer tous les radioéléments en dix groupes dont chacun correspond à un type chimique unique et occupe une seule place dans le système périodique.

On a donné le nom d'*isotopes* aux éléments radioactifs qui, malgré la diversité de leurs poids atomiques, ont des propriétés physico-chimiques identiques, ou même, si leurs poids atomiques

---

et le rubidium en strontium. Cfr. BERTHOUD, *Les nouvelles conceptions de la matière et de l'atome*, p. 170. Paris, Doin, 1923.

sont identiques, diffèrent uniquement par leurs propriétés radioactives (15).

En fait le nom d'isotopes a été étendu aux éléments non radioactifs, différents de poids atomique, mais chimiquement identiques et occupant une même place dans le système périodique (16).

GROUPE DES RADIOÉLÉMENTS ISOTOPES.

Numéro du système périodique		Poids atomique
92	Uranium I	238,18
	Uranium II	234
91	Protoactinium	230
	Uranium X_2	234
	Uranium Z	234
90	Thorium	232,12
	Radiothorium	228
	Uranium X_1	234
	Ionium	230
	Uranium X	230
	Radioactinium	226
89	Actinium	226
	Mésothorium II	228
88	Radium	226
	Thorium X	224
	Actinium X	222
	Mésothorium I	228
86	Emanation du radium ou radon	222
	Emanation du Thorium ou thoron	220
	Emanation de l'actinium ou actinon	218
84	Polonium	210
	Radium A	218
	Thorium A	216
	Actinium A	214
	Radium C'	214
	Thorium C'	212
	Actinium C'	210
83	Radium C	214
	Thorium C	212
	Actinium C	210
	Radium E	210
82	Radium B	214
	Thorium B	212
	Actinium B	210
	Radium D	201
81	Radium C"	201
	Thorium C"	208
	Actinium C"	206

On le voit, chaque groupe représente un même type chimique nettement défini. Quant aux poids atomiques des corps contenus dans un groupe, les uns sont identiques entre eux, les autres diffèrents de plusieurs unités.

(15) Les isotopes, puisqu'ils ont le même nombre atomique, émettent le même spectre de haute fréquence. Toutes les propriétés des isotopes ne sont pas cependant identiques ; celles qui dépendent directement de la masse atomique peuvent présenter des différences, par exemple, la vitesse de diffusion, la densité, etc. Cfr. BERTHOUD, *Les conceptions nouvelles de la matière et de l'atome*, Paris, Doin, 1923.

(16) Mme CURIE, *L'isotopie et les isotopes*, p. 49. Paris, Blanchard, 1924.

8. Quels sont les caractères généraux de la radioactivité ? — 1° Les transformations radioactives ne sont pas, bien qu'on leur donne souvent ce nom, de vraies transmutations d'éléments. « Les résultats de nombreux et pénibles travaux de laboratoire, nous ont appris, écrit Nernst, qu'il est impossible de transformer l'un en l'autre des poids égaux de matière, de nature différente. » Cette loi de non-transmutabilité reste toujours vraie (17). Aucun des corps, produits par la radioactivité, ne résulte de la transformation pure et simple d'une substance antérieure, mais bien d'une division, d'une désintégration atomique qui donne lieu à plusieurs substances. Le radium, par exemple, ne devient pas simplement de l'émanation ; mais il se décompose en deux substances : l'hélium qui constitue la particule α émise par rayonnement, et l'émanation ou le radon qui est la partie restante du radium allégé de sa particule α.

2° De plus, la formation des corps radioactifs se fait par une désintégration atomique progressive. Une substance mère, par exemple, donne naissance à une substance plus simple par la perte d'une particule α ou ß. Celle-ci, à son tour, subit un rayonnement et devient un élément plus simple encore. Et cette simplification continue par la perte successive de particules internes constitutives. Mais aucun corps de cette échelle de simplification ne peut redevenir le corps dont il provient. Ainsi l'uranium 238 devient du radium 226 ; celui-ci devient de l'émanation 222 et finalement du polonium 210. Jamais le polonium ne se transforme en émanation, ni celle-ci en radium. En un mot, la radioactivité engendre des atomes légers aux dépens d'atomes lourds, et comme le dit Perrin : « Si le phénomène inverse est possible, si les atomes lourds se régénèrent, ce doit être au centre des astres, où la température et la pression devenues colossales favorisent la pénétration réciproque des noyaux atomiques en même temps que l'absorption d'énergie » (18).

3° La désintégration atomique causée par la radioactivité semble se différencier profondément des décompositions chimiques ordinaires. La chaleur, la lumière, un champ magnétique, une forte condensation ou une dilution considérable de la matière radioactive, c'est-à-dire le bombardement intense ou insignifiant de cette matière par des corpuscules α et ß, n'exercent aucune influence sur les transformations radioactives. Aucun de ces agents n'en modifie ni l'intensité ni la vitesse, tandis qu'ils ont une influence souvent très appréciable sur les réactions chimiques (19).

---

(17) NERNST, *Traité de chimie générale*, 1re partie, p. 8. Paris, Hermann, 1911. — SODDY, *La radium*, p. 17. Paris, Alcan, 1923.

(18) PERRIN, *Les atomes*, p. 278. Paris, Alcan, 1924.

(19) PERRIN, *op. cit.*, p. 271. Paris, Alcan, 1924. — DEBIERNE, *Sur*

4° La radioactivité révèle l'existence dans l'atome d'une somme énorme d'énergie en réserve. C'est à l'atome, en effet, que les corpuscules doivent emprunter cette colossale énergie potentielle qui leur fait parcourir des centaines de milliers de kilomètres à la seconde. Le radium nous en donne un bel exemple. D'après les expériences de Mme Curie et de Laborde, la transformation complète d'un gramme de radium produirait un dégagement de chaleur de 3 milliards de calories. Il est certain qu'aucune réaction chimique ordinaire ne dégage pareille quantité de chaleur.

5° Pour l'atome individuel, la transformation radioactive est brusque et peut être comparée à une rupture explosive, instantanée. Mais si l'on considère une quantité de substance radioactive, la transformation des atomes qu'elle contient est successive et graduelle en ce sens qu'une petite portion bien définie du tout se désintègre pendant chaque unité de temps.

6° La radioactivité est une propriété atomique : le corps, qui en est doué, la conserve quel que soit l'élément auquel il est associé. Le radium, par exemple, possède son pouvoir de rayonnement, dans les combinaisons où il est engagé, aussi bien qu'à l'état d'isolement. Mais il est à noter que « c'est dans le seul moment où il explose, que l'atome est radioactif » (20).

7° Enfin, ajoutons encore que l'électron se montre toujours et partout identique à lui-même, quelles que soient les circonstances où il se manifeste, quelle que soit son origine. C'est toujours la même unité élémentaire ou son multiple que l'on trouve dans les gaz conducteurs, dans les phénomènes d'électrolyse, dans les rayons cathodiques, dans les radiations ß des substances radioactives (21).

9. Eléments constitutifs de l'atome chimique. — Les résultats de la radioactivité et des travaux qu'elle a suggérés ont permis aux physiciens de tenter une explication de la constitution intime de l'atome chimique.

L'atome le plus léger est celui de l'hydrogène, dont le poids atomique est représenté par l'unité.

D'après la théorie moderne, on y distingue deux parties : le noyau et la périphérie. Le noyau, fortement condensé, porte une seule charge d'électricité positive. On lui a donné le nom de *proton;*

---

les transformations radioactives, pp. 323-326. — SODDY, La radium, p. 17. Paris, Alcan, 1921.

(20) PERRIN, *Les atomes,* Paris, Alcan, 1924. « Quand nous lisons, écrit-il, que la radioactivité de l'uranium est une propriété atomique, il faut bien entendre qu'elle ne nous révèle pas les atomes d'uranium qui subsistent, mais uniquement ceux qui se brisent. »

(21) LANGEVIN, *Les grains d'électricité,* pp. 58 et suiv. — REY, *Les fondements objectifs de la notion d'électron (Revue philosophique,* novembre 1913, février et avril 1914).

et comme l'on n'a trouvé jusqu'ici aucune charge d'électricité positive plus petite que la sienne, on l'appelle aussi l'atome d'électricité positive.

Autour de ce noyau gravite un seul *électron.* Ce corpuscule porte une charge d'électricité équivalente à celle du proton mais de signe contraire ; on l'appelle l'atome d'électricité négative. Sa masse n'est que la 1833e partie de la masse atomique de l'hydrogène. Le *proton* et *l'électron,* tels sont les deux constituants physiques de l'atome le plus léger, et le plus simple que l'on possède.

Pour la généralité des physiciens et des chimistes, tels sont aussi les deux constituants primordiaux de tous les corps simples de la chimie.

10. Relation entre les deux constituants de l'atome. — Avant d'examiner le bien fondé de cette généralisation, il importe de mettre en lumière l'origine des propriétés atomiques, le rôle respectif qu'exercent, à ce point de vue, les deux parties constitutives de l'atome : le noyau et la périphérie, enfin la structure même de l'atome.

Le *noyau atomique* de tous les atomes, plus lourds que celui de l'hydrogène, renferme un certain nombre de protons et d'électrons, intimement agrégés, dont la résultante électrique est toujours positive. « Le noyau, dit Rutherford, contient toute l'électricité positive de l'atome (22). Il régit le poids et les propriétés radioactives. Le poids dépend surtout du nombre absolu des protons qui y sont contenus, les électrons n'ayant qu'une masse relativement négligeable. Quant aux propriétés radioactives, elles tiennent à la structure du noyau lui-même.

C'est, au contraire, aux électrons de la *périphérie,* appelés souvent électrons planétaires parce qu'ils gravitent autour du noyau, que se rattachent les propriétés chimiques, les propriétés spectroscopiques, et celles des propriétés physiques qui ne font pas intervenir le poids de l'atome (23).

Cependant, il existe entre le noyau et les électrons périphériques une relation très intime où se révèle l'unité réelle de l'atome, malgré la dualité de ses éléments constituants. Le fondement de cette relation est la charge nucléaire.

On entend par *charge nucléaire,* non pas la somme des charges positives et négatives contenues dans le noyau, mais la *différence* entre les nombres de ces charges contraires ; en d'autres termes, entre le nombre de protons et celui des électrons dont est

---

(22) BECQUEREL, *La radioactivité (Revue Générale des Sciences,* 30 octobre 1924.) — SODDY, *Le radium,* p. 161. Paris, Hermann, 1923.

(23) Les propriétés chimiques dépendent surtout de la couche la plus extérieure de la périphérie.

constitué le noyau central (24). Pour éviter toute équivoque, plusieurs auteurs appellent cet excédent des charges positives sur les négatives, charge *résultante,* charge *nette* du noyau.

« Dans un atome neutre, la charge positive du noyau est égale à la somme des charges négatives des électrons planétaires ou périphériques. » (25) Cette charge nucléaire détermine donc le nombre et l'arrangement des électrons négatifs de la périphérie ; et puisque les propriétés chimiques, physiques, spectroscopiques dépendent de la structure ou de la constitution de cette enveloppe, on peut dire que le noyau régit toutes les propriétés de l'atome, les unes directement, tels le poids et les propriétés radioactives, les autres indirectement.

11. Nombre atomique. Son importance. On devine aisément l'importance capitale attribuée à cette charge nucléaire d'un atome dans la classification des corps simples, l'identité de charge nucléaire entraînant avec elle l'identité chimique et physique. On a donné à cette grandeur fondamentale le nom de *nombre atomique.* « Pour un élément quelconque, écrit Becquerel, le nombre atomique est la différence entre le nombre de protons et le nombre d'électrons qui, en dernière analyse, sont contenus dans le noyau » (26) ; ou ce qui revient au même, « la charge positive du noyau atomique, exprimée en fonction de l'unité naturelle de charge électrique » (27). Une autre définition équivalente identifie le nombre atomique « avec le nombre entier d'électrons qui forment la périphérie de l'atome » (28).

Bien que ces définitions soient équivalentes, le nombre atomique exprime, à parler rigoureusement, le rang ou la place qu'occupe un corps simple dans la série des éléments lorsque tous les éléments connus sont disposés, comme dans la table périodique de Mendeléeff, suivant l'ordre des poids atomiques croissants, à partir de l'hydrogène.

Il est clair que ce nombre est équivalent au nombre des unités positives de la charge nucléaire et à celui des électrons périphériques (29). L'hydrogène occupe le numéro 1 dans cette série, son noyau ne porte qu'une seule unité d'électricité positive, et n'est entouré que d'un seul électron périphérique. L'hélium occupe le numéro 2 dans la table périodique : la charge nette de son noyau atomique et le nombre de ses électrons planétaires comprennent 2

(24) SODDY, *Le radium.* p. 324. — BECQUEREL, *La radioactivité,* loc. cit., p. 600.
(25) ASTON, *Les Isotopes,* p. 99. Paris, Hermann, 1923.
(26) BECQUEREL, *loc. cit.,* p. 600.
(27) ASTON, *Les Isotopes,* p. 100.
(28) BECQUEREL, *loc. cit.,* p. 600.
(29) ASTON, *loc. cit.,* p. 117. « Le nombre atomique, dit-il, n'est fonction que de la charge positive nette du noyau. »

unités. Pour le lithium ce nombre est de 3, pour le glucinium de 4, et ainsi de suite jusqu'à l'uranium à qui est attribuée la place ou le nombre atomique 92.

D'après la théorie de Rutherford, le nombre de charges positives du noyau de l'atome et celui des électrons négatifs de la couche superficielle augmentent d'une unité chaque fois que l'on passe d'un élément au suivant dans le système périodique, (30), ou, comme le dit Becquerel, d'un cas à l'autre le nombre atomique croît d'une unité (31). A raison de cette régularité parfaite, on a pu réserver 5 places vacantes, ou actuellement inoccupées pour 5 éléments à découvrir.

Lorsque l'on compare la série des nombres atomiques à celle des poids atomiques, on constate que, pour un élément donné, le nombre atomique est assez souvent inférieur à la moitié du poids atomique. Il y a même dans ce parallélisme des irrégularités et des écarts assez considérables. Un fait nouveau, dû à la radioactivité, nous en donne la raison et nous montre en même temps la grande importance qu'il faut désormais attribuer au nombre atomique, aux dépens du crédit dont avait joui jusqu'ici le poids atomique. Ce fait nouveau est la découverte des isotopes.

12. L'isotopie : la raison explicative de ce fait. — On entend par *isotopes* des éléments qui possèdent le même nombre atomique mais diffèrent les uns des autres, soit par leur poids atomique, soit par leurs propriétés radioactives (32).

Comme il a été dit, une même charge nucléaire positive entraîne après elle, un même nombre d'électrons périphériques, donc les mêmes propriétés chimiques et physiques ordinaires, donc aussi un même nombre atomique. Mais l'identité de charge nucléaire *résultante* n'implique pas l'identité du nombre *absolu* des charges positives et négatives du noyau, ni l'identité dans leur arrangement interne. De là une double conséquence.

Supposons d'abord qu'à un noyau atomique dont la charge nucléaire résultante est de 56 unités positives, nous ajoutions simultanément un proton et un électron ; la résultante positive restera inchangée, donc aussi la nature chimique et physique de l'atome ; mais le poids atomique se sera accru d'une unité, puisque celui-ci dépend du nombre absolu des protons. Le Krypton nous en donne un bel exemple. On lui connaît actuellement six isotopes dont les poids atomiques sont respectivement 79, 80, 82, 83, 84, 86. Malgré cette différence pondérale, ces six corps physiquement et chimiquement identiques occupent la même place dans la sériation nouvelle, basée non plus sur le poids atomique, mais

(30) Soddy, *Le radium*, p. 322.
(31) Becquerel, *loc. cit.*, p. 601.
(32) Soddy, *loc. cit.*, p. 324.

sur la nature physico-chimique de l'élément, autrement dit, le nombre atomique.

A cette première catégorie d'isotopes s'en ajoute une seconde appelée *isotopes isobares*. Ces corps identiques au double point de vue chimique et physique, doués aussi d'un même poids atomique sont cependant différents par leurs propriétés radioactives. « Deux éléments isotopes et isobares provenant d'évolutions différentes sont nécessairement différents, écrit Becquerel, car leurs noyaux atomiques n'ont pas la même énergie interne et par suite différent par la manière dont sont assemblés les protons et les électrons : de tels corps peuvent avoir des constantes radioactives franchement différentes, comme par exemple, l'ionium et l'uranium γ (33). L'un émet une particule α ou atome d'hélium, l'autre une particule β ou électron. Ils diffèrent aussi par leur vie moyenne.

Le phénomène d'isotopie nous montre donc clairement que la classification naturelle des éléments est en réalité, non pas une classification par poids atomiques croissants, mais une classification par charges électriques nucléaires croissantes, ou nombres atomiques.

13. Quelle est, d'après la théorie moderne, la structure de l'atome ? — Le *noyau* des atomes lourds est un monde compliqué. presque fermé, insensible aux actions extérieures habituelles (34). Trois constantes résument tout ce que l'on connaît du noyau : le poids atomique, le nombre atomique, la constante radioactive. Le poids atomique représente le nombre de protons.

Le nombre atomique représente le nombre d'électrons périphériques, et la différence entre ces deux nombres exprime le nombre d'électrons compris dans le noyau. Prenons pour exemples l'atome le plus lourd que l'on possède, celui de l'uranium. — Il a pour poids atomique 238. Son nombre atomique est 92. Le noyau contient donc 238 protons et 146 électrons (238-92). Autour du noyau gravitent 92 électrons périphériques (35).

Quant au mode d'agencement de ces unités constitutives, on ne peut émettre jusqu'ici que des conjectures (36).

La périphérie contient les électrons extérieurs au noyau.

D'après Rutherford, le noyau occupe un espace très petit et les électrons sont répartis en couches sphériques autour de lui dans une région relativement grande correspondant au volume de l'atome. De plus, pour ne pas tomber sur le noyau qui les attire, les électrons gravitent comme les planètes autour du soleil, en sorte

---

(33) Becquerel, *La radioactivité, (Revue Générale des Sciences.* p. 602, 1924).

(34) Le proton ou noyau d'hydrogène ne renferme pas d'électrons.

(35) Becquerel, *La radioactivité,* p. 153. Paris, 1924.

(36) Aston, *Les isotopes,* p. 109, Paris, Hermann, 1923.

qu'il y a égalité entre la force centrifuge et l'attraction nucléaire.

Cette structure de l'atome permet de rendre compte d'un grand nombre de propriétés, mais elle soulève de grandes difficultés. En effet, si, comme on le suppose, les électrons gravitent autour du noyau, ils doivent rayonner, perdre de l'énergie et finalement tomber sur le noyau. En se rapprochant de celui-ci, ils doivent aussi augmenter la fréquence de leur rotation et diminuer la longueur d'onde de leur rayonnement. A s'en tenir aux lois ordinaires de l'électro-dynamique, la conception de Rutherford sur le mouvement interatomique de l'électron conduirait donc à deux conséquences inadmissibles : l'instabilité de l'atome et la variabilité complète des longueurs d'ondes des rayons émis par les corps incandescents.

Pour expliquer la permanence et la complexité des spectres lumineux, Bohr fait subir à l'atome de Rutherford certaines modifications, en y introduisant la théorie des « *quanta* ». Selon Plank, l'énergie des oscillateurs qui émettent des ondes périodiques, varie d'une manière discontinue, c'est-à-dire que cette émission se fait par « grains » ou « quanta » d'énergie, chaque quantum étant égal au produit de la fréquence de la radiation émise par une constante universelle d'action, appelée constante de Plank. S'inspirant de cette théorie, Bohr (37), suppose qu'un électron en mouvement autour du noyau positif peut posséder un certain nombre d'orbites stables, circulaires sur lesquelles il ne rayonne pas. Chaque orbite correspond à une certaine valeur, en d'autres termes, à un certain niveau d'énergie interme. L'électron n'émet de rayonnement que lorsqu'il passe d'une orbite stable à une autre correspondant à un niveau d'énergie plus bas (38).

Sommerfeld a complété et perfectionné cette théorie en deux points ; d'abord, il admet que les trajectoires des électrons peuvent être des ellipses ayant pour foyer le noyau. Ensuite, il a remplacé dans le calcul les lois de l'ancienne mécanique par celles qui sont exigées dans la dynamique nouvelle de la relativité, notamment la loi de la variation de la masse avec la vitesse. Il établit ainsi une théorie de la structure fine des raies spectrales dont la vérification expérimentale est remarquable au moins pour les spectres lumineux de l'hydrogène et de l'hélium.

14. Tout corps est constitué, en dernière analyse, de deux éléments constitutifs : le proton et l'électron. Quelles sont les assises de cette conception moderne ?

1° Si l'hydrogène, dit-on, ou plus exactement le proton, est un constituant universel de la matière, on doit pouvoir, en utilisant

(37) BECQUEREL, *La radioactivité*, p. 156.

(38) BOHR, *Les spectres et la structure des atomes*, trad. Cfr. Corvisy, 1923.

une énergie suffisante, l'arracher aux noyaux complexes. Or, grâce au bombardement par les rayons α émanés du radium C', la source d'énergie la plus concentrée dont on dispose déjà actuellement, on est parvenu à extraire des rayons d'hydrogène d'un nombre considérable d'éléments, notamment du bore, de l'azote, du fluor, du sodium, de l'aluminium, du phosphore.

Cette action ne paraît pas devoir s'étendre aux corps dont le poids atomique est supérieur à celui du phoshore ; la raison en est que la charge positive de leur noyau est assez forte pour repousser la particule α qui est elle-même chargée positivement.

On remarque aussi qu'aucun élément dont le poids atomique est un multiple de 4 ne donne des rayons d'hydrogène ; mais ce fait s'explique aisément si l'on admet que, dans ces corps, les protons sont assemblés par groupe de 4, et que chacun de ces groupements constitue une particule α ou noyau de l'hélium. Or ce noyau, constitué de 4 protons, est doué d'une stabilité si grande qu'aucun bombardement ne peut le diviser (39).

2° Tous les poids atomiques sont des nombres entiers, au *millième près,* si l'on prend, par convention, celui de l'oxygène égal à 16. Autrefois, on avait trouvé des écarts aux valeurs entières parce qu'on opérait, sans le savoir, sur des mélanges d'isotopes. On sait actuellement que, tous ces isotopes, considérés isolément ont toujours des poids atomiques entiers (40). Notons aussi que l'existence de particules ayant un poids atomique triple de celui de l'hydrogène a été récemment confirmée par un physicien anglais Aston (41).

Il est donc permis de souscrire à l'ancienne hypothèse de Prout d'après laquelle tous les poids atomiques sont des multiples exacts de celui de l'hydrogène.

3° La radioactivité est soumise aux deux lois suivantes : 1) l'expulsion d'une particule α noyau de l'hélium, dont le poids atomique est 4, la charge nucléaire et le nombre atomique 2, diminue le poids atomique de l'élément de 4 unités et abaisse de

(39) La formation de ce noyau aurait libéré six milliards de grandes calories. De là sa grande stabilité.

(40) L'hydrogène dont le poids atomique est de 1.008 semble incompatible avec cette hypothèse. Comment, en effet, la réunion de 4 atomes d'hydrogène pourrait-elle donner naissance à l'atome d'hélium dont le poids atomique s'exprime par le nombre entier 4, à l'atome d'oxygène dont le poids atomique est 16 ? On pense avoir trouvé l'explication de ce fait dans la perte d'énergie qui a dû accompagner la condensation des atomes d'hydrogène en atomes plus massifs ; l'énergie étant « actuellement considérée comme douée de masse et de poids. Cfr. Mme CURIE, *L'isotopie et les isotopes,* p. 141. Paris, Blanchard, 1924. « La règle des nombres entiers n'exprimerait, d'après Aston, que la constance approximative moyenne du tassement de tous les atomes. » Cfr. ASTON, *Les isotopes,* p. 108.

(41) ASTON, *Les isotopes,* p. 76.

2 unités son rang dans la classification périodique. 2) L'expulsion d'une particule ß ou électron, d'un noyau atomique, ne modifie pas le poids atomique mais élève d'une unité le rang de l'élément. Ne faut-il pas en conclure que l'électron et le proton, soit comme tel, soit sous la forme d'un groupement de 4 unités, se révèlent comme les vrais constituants de la matière ?

15. La portée cosmologique de cette conception de la matière. — Il serait antiscientifique, à l'heure présente, de mettre en doute, l'existence et l'importance de ces deux constituants, le proton et l'électron. Que tous les corps simples leur doivent, en dernière analyse, leur origine, c'est même une hypothèse d'une réelle probabilité et qui paraît se confirmer de plus en plus au contact des faits, bien qu'elle soulève encore plusieurs difficultés sérieuses.

Du point de vue cosmologique, cette hypothèse de la réductibilité de tous les corps à deux constitutifs primordiaux se concilie aisément avec la théorie aristotélicienne et thomiste sur la constitution de la matière. Le nombre de constituants primordiaux est, en effet, une simple question d'application de la théorie. Que nos 92 corps simples soient irréductibles entre eux, et à des éléments plus simples encore, ou bien qu'ils trouvent leur origine commune dans le proton et l'électron, il n'importe, pourvu que la théorie hylémorphique puisse s'appliquer à ces éléments irréductibles.

16. Unité réelle de l'atome. — Or un premier fait à signaler est l'unité réelle de l'atome. Comme nous l'avons montré plus haut, toutes les propriétés caractéristiques d'un corps, poids atomique, propriétés radioactives, propriétés chimiques et physiques dépendent directement ou indirectement du noyau. C'est lui qui, en réalité, régit toute l'activité de l'atome. Sans doute les savants modernes distinguent deux parties dans le petit édifice atomique, mais, à leur avis même, il existe entre ces parties une interdépendance, une solidarité naturelle si grande que tout ce qui compromet l'unité fonctionnelle du tout compromet du même coup l'individualité ou même l'espèce.

17. Matérialité du proton. — En second lieu, quoi qu'on en ait dit, la théorie moderne ne supprime nullement la matérialité de l'atome. Si le proton de l'hydrogène porte d'ordinaire le nom d'atome d'électricité positive, rien ne nous autorise cependant à le considérer comme de l'électricité pure, condensée. Sa charge ou sa quantité d'électricité positive est équivalente, et de signe contraire, à celle de l'électron, mais sa masse reste 1833 fois plus considérable. Il y a dans le noyau central une réalité pesante ; « en lui résident, dit M. Soddy, les propriétés proprement matérielles de l'atome ». « On pensait, à une certaine époque, écrit-il, qu'il

serait possible d'expliquer les propriétés des atomes de matière en les supposant construits uniquement d'électrons ou d'atomes d'électricité, hypothèse qui s'accorde aussi peu avec la réalité que celle qui consisterait à regarder le système scolaire comme composé seulement de planètes, le soleil central étant négligé. Le problème de la nature réelle des atomes matériels n'est résolu complètement par aucun de ces progrès scientifiques indépendants... La radioactivité concerne d'abord la matière et non l'électricité, et elle incline plutôt que dans tout autre sens, à montrer l'incohérence des hypothèses d'après lesquelles la matière ne serait faite que d'électricité (42).

Avec le même auteur, nous pouvons donc appeler le proton, ou la particule α, un atome matériel chargé.

18. Matérialité de l'électron. — Mais l'électron lui-même n'est-il pas un grain, un atome d'électricité négative sans support matériel ?

Beaucoup de physiciens le croient, mais comme le dit Berthoud, « on ne peut donner une seule preuve expérimentale de cette hypothèse «. Néanmoins, « cette hypothèse est si attrayante par sa simplicité et les conséquences qui en découlent, qu'elle a été généralement acceptée » (43).

La masse électromagnétique et variable avec la vitesse, que les formules mathématiques attribuent à l'électron, n'est pas exclusive de la masse matérielle ordinaire. Seulement, si celle-ci est tellement petite par rapport à la première, elle a pu être négligée, et cela d'autant plus que les équations abstraites des mathématiques ne sauraient prétendre représenter toute la réalité concrète.

Quant au volume de l'électron, on l'a calculé, grâce à des hypothèses et des extrapolations plus ou moins vraisemblables ou légitimes. D'après Soddy, le diamètre accepté de l'électron négatif serait de 2.10^{-13} cm. Suivant Becquerel, il serait de

$$\frac{1.87}{10.000.000.000} \text{ cm.}$$

Mais si l'électron jouit d'une véritable inertie, s'il possède une masse, fût-elle d'origine électromagnétique, s'il faut lui atribuer un volume, quitte à la réduire à une espèce d'action déterminée, pourqoui n'aurait-il pas droit de cité dans la matière commune ?

Dès lors, ne serait-il pas plus conforme aux faits de dire avec le Dr Achalme (45) : l'électron n'est ni de l'électricité, ni de

---

(42) SODDY, *Le radium*, p. 164. Paris, Alcan, 1921.
(43) BERTHOUD, *Les nouvelles conceptions de la matière et de l'atome*, p. 75-77. Paris, Alcan.
(44) SODDY, *Le radium*, p. 317. Paris, Alcan, 1921.
(45) BECQUEREL, *La radioactivité*, p. 58. Paris, Payot, 1924.

la lumière, ni du magnétisme ; c'est un constituant de la matière qui, par ses mouvements divers, paraît être l'origine des phénomènes électriques, lumineux et magnétiques ? (46)

19. Mode de présence de ces deux constitutifs dans l'atome. — Enfin, à supposer établie l'hypothèse de la réductibilité de tous les corps à deux constituants primordiaux, faudrait-il en conclure que le proton et l'électron se trouvent comme tels dans tous leurs descendants, et que partant tous les corps simples et composés ne sont que des agrégats ?

Nullement, l'expérience donne même à pareilles conclusions un solennel démenti. En se désintégrant dans le phénomène de radioactivité, l'atome de radium donne naissance à deux atomes, l'un d'émanation, l'autre d'hélium. Si ces deux produits de la désintégration existaient réellement dans leur élément générateur, à savoir le radium, celui-ci devrait en manifester les spectres caractéristiques. Or, le spectre du radium ne contient pas une seule des lignes caractéristiques de l'hélium ; ce n'est qu'après l'explosion et la transformation radicale du radium que ce dernier spectre apparaît (47).

A l'appui de l'opinion contraire, on invoque, il est vrai, le fait de l'émission des particules α par les noyaux radioactifs. Mais ce fait n'infirme en rien les données de l'analyse spectrale. Comme le dit Aston, « autant revient à prétendre qu'un pistolet contient de la fumée, car il est tout à fait possible que la particule α, comme la fumée du pistolet, ne se forme qu'au moment de son expulsion » (48).

20. L'atome chimique et le magnéton. — Suivant une théorie nouvelle, très en vogue actuellement, l'atome chimique ne serait pas seulement constitué d'atomes d'électricité ou électrons ; il comprendrait même des atomes de magnétisme ou magnétons.

Les recherches faites à ce sujet par P. Weiss ont porté sur un grand nombre de corps magnétiques, notamment sur le fer, le cobalt, le nickel, le chrome, le manganèse, le cuivre, le mercure, le vanadium et l'uranium. Or, il résulte de ces travaux que l'atome de chacun de ces corps possède un moment magnétique qui est toujours un multiple exact du moment magnétique élémentaire appelé magnéton. Les masses atomiques d'une espèce donnée possèdent un même nombre de ces unités élémentaires ; les atomes d'espèces chimiques différentes en contiennent des quantités différentes. On a pu constater la présence de onze unités magnétiques dans le fer et trois dans le nickel. Ce nombre, toutefois, n'est pas invariable ; il peut prendre des valeurs diverses pour un même atome

(46) Dr ACHALME, *L'atome*, p. 21. Paris, Payot, 1921.
(47) SODDY, *Le radium*, p. 162.
(48) ASTON, *Les isotopes*, p. 109. Paris, Hermann, 1923.

chimique, d'après les conditions de température ou d'après les combinaisons dont il fait partie. Cependant, même dans ce cas, il existe toujours entre ces valeurs différentes un rapport rationnel et simple, c'est-à-dire un rapport défini entre l'unité et son multiple.

« On peut donc trouver, écrit P. Weiss, entre les moments magnétiques (49) atomiques d'un même atome d'abord, une partie aliquote commune. On peut s'assurer ensuite que les parties aliquotes de différents atomes sont toutes les mêmes. Ce sous-multiple commun des moments atomiques a été appelé *magnéton*. Si l'on admet, ce qui paraît extrêmement vraisemblable, que ce moment magnétique élémentaire (ou magnéton) réside dans un substrat matériel qui possédera probablement une masse pesante, on peut dire : le magnéton est un élément constituant commun à un grand nombre d'atomes magnétiques et sans doute à tous »(50).

Les nouvelles recherches entreprises par A. Picard et Weiss sur des corps paramagnétiques, tels l'oxygène et l'oxyde azotique, sont une nouvelle vérification de la loi des nombres entiers (51).

La théorie nouvelle possède donc déjà un vaste champ d'application, et l'on se demande à bon droit si elle ne pourrait pas être étendue aux atomes de toutes les espèces chimiques. La réponse n'est pas douteuse pour qui admet l'hypothèse de Ritz, d'après laquelle l'interprétation des lois des spectres en série suppose nécessairement l'existence, dans un même atome, d'aimants identiques, capables de se placer bout à bout. Ces spectres en série se présentent, non seulement dans les atomes magnétiques, mais dans un bon nombre d'atomes diamagnétiques (52). Dans l'hypothèse où l'élément de Ritz s'identifierait avec le magnéton, il serait donc permis de regarder le magnéton comme un nouveau constituant universel de la matière, partout identique malgré la diversité spécifique des atomes chimiques. D'après les calculs, le magnéton serait plus gros que l'électron, mais beaucoup plus petit que l'atome du chimiste.

La nature de cette nouvelle unité élémentaire est encore très mystérieuse. « Est-il quelque chose de simple ? dit Poincaré. Non, répond-il, si l'on ne veut pas renoncer à l'hypothèse des courants

---

(49) « On appelle « moment magnétique » d'un aimant le produit de la grandeur de l'un de ses pôles par leur distance. Lorsqu'un corps possède plusieurs aimants parallèles, le moment magnétique résultant est la somme des moments magnétiques composants. » Cfr. WEISS, *Les moments magnétiques des atomes et le magnéton*, p. 333 (Les idées modernes). Paris, Alcan, 1913.

(50) WEISS, *Les moments magnétiques des atomes et le magnéton*, p. 354. — Cfr. *Revue générale des Sciences*, 30 janvier 1913, p. 45.

(51) WEISS, *Le magnéton (Revue générale des Sciences*, 15 janvier 1914, pp. 12-24).

(52) WEISS, *op. cit., p.* 355.

particulaires d'Ampère (53) ; un magnéton est alors un tourbillon d'électrons, et voilà notre atome qui se complique de plus en plus » (54). Ampère, on le sait, ramenait les phénomènes magnétiques aux phénomènes électriques. Il admettait que les particules des aimants sont entourées de petits courants circulaires enchevêtrés dans toutes les directions. Pareils courants ne peuvent donner lieu à aucune action électromagnétique. Mais sous l'influence d'un aimant ou d'un courant énergique, ils s'orientent, prennent une position d'équilibre conformément aux lois de l'électrodynamique, et présentent des caractères magnétiques. Si l'on admet cette hypothèse, la théorie nouvelle nous montre sous un jour nouveau la constitution électronique de l'atome chimique.

21. Que faut-il penser de cette théorie ? — A en croire des physiciens de marque, tel H. Poincaré, les rapports numériques découverts par P. Weiss dans l'étude des corps magnétiques ne peuvent être dus au hasard, mais il reste à se demander si l'hypothèse du magnéton est la seule explication possible du fait. Quant à la théorie de Ritz, dont on se réclame pour étendre l'hypothèse de Weiss aux atomes de tous les corps chimiques, le physicien français la trouve artificielle et très audacieuse ; il reconnaît cependant que jusqu'ici elle est la seule théorie explicative de la loi des spectres en série (55).

Pour Perrin, la vérification complète, dans les corps solides, de la loi de Langevin concernant le calcul de l'aimantation maxima, vérification faite en 1923 par Kamerlingh Onnes, l'explication pleinement satisfaisante du ferromagnétisme par l'hypothèse d'un champ intérieur très intense dû aux actions mutuelles des molécules, la constatation que les valeurs d'une aimantation maxima sont des multiples entiers d'un même nombre (1123 unités C. G. S.). tout cela « devait conduire Weiss à admettre que, dans tous les atomes paramagnétiques, il existe de petits aimants identiques, *nouveau constituant universel de la matière, appelés magnétons*» (56).

22. L'atome chimique et les atomes d'énergie. — Jamais la théorie atomiste ne fut plus en vogue qu'à l'heure présente. Après avoir introduit la discontinuité dans la matière perceptible par nos sens, et donné droit de cité à l'atome du chimiste, elle nous a représenté cet atome lui-même comme un monde très complexe où les grains d'électricité et les magnétons jouent un rôle prépon-

---

(53) BOUTY, *La vérité scientifique*, p. 249. Paris, Flammarion, 1909. « L'hypothèse d'Ampère, vieille de près d'un siècle, a subi avec succès l'épreuve du temps. Elle subsistera dans ce qu'elle offre d'essentiel ». — LE BON, *L'évolution des forces*, p. 130. Paris, Flammarion, 1908.

(54) H. POINCARÉ, *Les rapports de la matière et de l'éther*, p. 361.

(55) H. POINCARÉ, *op. cit.*, p. 361.

(56) PERRIN, *Les atomes*, p. 261. Paris, Alcan, 1924.

dérant. Mais la théorie va plus loin. Non contente de fractionner la matière et de la réduire à ces sous-atomes d'électricité et de magnétisme, elle admet la discontinuité dans l'énergie elle-même. La théorie atomique de l'énergie, appelée d'ordinaire théorie des *quanta,* fut inventée par Planck pour rendre compte du rayonnement des corps noirs et de la variation des chaleurs spécifiques avec la température. En fait, ces phénomènes soulèvent de grosses difficultés pour qui admet que les échanges d'énergie rayonnante se font toujours par degrés insensibles. A cette conception traditionnelle, Planck substitue l'hypothèse des échanges d'énergie par sauts brusques (57).

Qu'il s'agisse d'échanges d'énergie entre la matière et l'éther, ou entre la matière ordinaire et les électrons, dont les vibrations engendrent la lumière des corps incandescents, le gain et la perte d'énergie se réalisent d'une manière discontinue, en sorte qu'un de ces électrons, par exemple, ne peut acquérir une fraction de ce quantum ; c'est le quantum entier qu'il doit recevoir ou rien du tout. Ces oscillateurs doivent donc contenir un nombre entier d'*atomes d'énergie* ou de *grains d'énergie.*

23. Quelle est la valeur de cet atome d'énergie ? — Elle dépend, non pas de la nature de l'oscillateur, mais du nombre de vibrations qu'il exécute par seconde. Ou plutôt, cette valeur est proportionnelle à la fréquence d'oscillations ; elle devient dix fois plus grande si cette fréquence elle-même est dix fois plus grande. Pour déterminer la grandeur de ce grain d'énergie, il faut donc multiplier la fréquence V par une constante universelle h, appelée constante de Planck (58). Cette constante n'est autre que l'*unité d'action ;* elle exprime le quotient qu'on obtiendrait en divisant la valeur du quantum par la fréquence de vibrations.

24. Opinion des physiciens sur cette théorie. — L'hypothèse de Planck a été appliquée à l'émission des rayons cathodiques sous l'influence de la lumière, à la production des rayons Röntgen par les chocs des rayons cathodiques, à l'émission des rayons γ des corps radioactifs, etc. Partout, elle s'est montrée d'une grande fécondité et les services qu'elle a rendus à la science sont déjà considérables. On lui est même redevable de la solution des grosses difficultés auxquelles se heurtait la théorie cinétique. « La constante de Planck, écrit M. Bauer, doit avoir une signification aussi profonde que la charge électrique de l'électron qui se présente également comme une grandeur invariable (59).

(57) BAUER, *Les quantités élémentaires d'énergie* (Les idées modernes), p. 132. Paris, Alcan. 1913. — PERRIN, *Les atomes,* pp. 212-218. Paris, Alcan, 1924.

(58) PERRIN, *Les atomes* — la lumière et les quanta — p. 216. Paris, Alcan, 1924.

(59) BAUER, *Les quantités élémentaires d'énergie,* p. 147.

En ces dernières anneés, l'hypothèse de Planck s'est montrée d'une très grande fécondité. Elle a été appliquée par Bohr et Sommerfeld à l'interprétation de la structure de l'atome, et non seulement elle a rendu compte des faits connus, mais elle a donné lieu à des prévisions que l'expérience a confirmées. De plus, elle a permis de déterminer les grandeurs moléculaires par le rayonnement qu'émet un corps noir. Par une extension hardie de cette même hypothèse, Einstein est parvenu à rendre compte de l'influence de la température sur la chaleur spécifique des solides. Enfin, il se peut que la loi de la discontinuité qui règle l'énergie des oscillateurs s'étende aux mouvements rotatoires avec une même valeur pour la constante universelle h de Planck, en sorte que si un corps tourne à raison de v tours par seconde, son énergie vaudrait un nombre entier de fois le produit hv.

« La formule trouvée par Planck (1901), écrit Perrin, marque une date importante dans l'histoire de la physique. Elle a en effet imposé des idées toutes nouvelles » (60).

On ne peut nier cependant que l'émission ou l'absorption granulaire de l'énergie, et surtout la variation de la valeur du quantum énergétique avec la fréquence des oscillations, présentent quelque chose de bien mystérieux. D'ailleurs, à l'heure présente, l'hypothèse prête encore le flanc à de sérieuses et nombreuses difficultés que l'on constate sans les résoudre (61).

« Ainsi, écrit Berthoud, ni la conception d'Einstein (sur la nature corpusculaire de la lumière) ni celle de Planck ne paraît conciliable avec tous les phénomènes observes » ; l'une et l'autre conduisent à des contradictions. C'est pourquoi certains physiciens restent perplexes vis-à-vis de la théorie des quanta et hésitent de s'y rallier, prétendant qu'elle ne fait que déplacer les difficultés en substituant une inconnue à une autre ». Pour lui, cependant, cette manière de voir n'est pas justifiée. D'abord, parce que la théorie des quanta donne une interprétation précise et simple de phénomènes vis-à-vis desquels les doctrines classiques restent impuissantes. En second lieu, parce que le rôle d'une théorie n'est pas de fournir une *explication* véritable des phénomènes et d'en faire connaître la nature, celle-ci nous échappe et nous échappera vraisemblablement toujours, mais d'ouvrir la voie à des progrès réels, à des vues plus synthétiques, etc.. Pour être utiles, il n'est pas indispensable qu'elles soient parfaites à tous points de vue (62).

Pour Urbain, « cette hypothèse très commode pour résoudre

---

(60) PERRIN, *Les atomes*, p. 214 et passim, Paris, Alcan, 1924.

(61) ROUGIER. *La matière et l'énergie*, p. 91. Paris, Gauthier-Villars, 1921.

(62) BERTHOUD, *Les nouvelles conceptions de la matière et de l'atome*, pp. 251-253. Paris, Doin, 1923.

les problèmes des rayonnements, ne s'impose pas à l'esprit et ne le satisfait en aucune manière. Elle tranche des difficultés qui, sans elle, seraient peut-être insurmontables, mais comme elle ne s'explique pas elle-même, il serait vain de vouloir l'utiliser pour expliquer quoi que ce soit. Il faut l'accepter d'un point de vue théorique, comme, d'un point de vue expérimental, on accepte le fait » (63).

Enfin, notons encore que cette hypothèse des quanta heurte de front le principe de continuité qui a dominé jusqu'ici la physique théorique, et que, d'autre part, la notion de continuité joue un rôle capital en thermodynamique où elle est appliquée d'une manière constante.

(63) URBAIN, *Les notions fondamentales d'élément chimique et d'atome*, p. 116. Paris, Gauthier-Villars, 1925.

ARTICLE III

Les propriétés de la matière.

25. Le rôle de l'électron. — Les nouvelles découvertes sur la constitituion de l'atome devaient naturellement exercer leur influence sur l'explication des propriétés physiques et chimiques de la matière. En réalité, la théorie des électrons est venue compléter la physique électromagnétique. Depuis longtemps déjà les physiciens avaient mis en relief les étroites analogies existantes entre l'électricité et le magnétisme, entre ces deux phénomènes et ceux de la lumière et de la chaleur rayonnante. Le fait que les actions électromagnétiques se propagent avec la vitesse de la lumière, se réfléchissent et se réfractent, ne fut-il pas le point de départ de la théorie électromagnétique des phénomènes lumineux ? Actuellement, on le sait, on n'établit plus, entre les ondes lumineuses et les ondes électromagnétiques, qu'une différence de longueur ou de période, en sorte que si ces dernières avaient leur période un million de fois plus petite, la similitude des deux phénomènes serait à peu près complète.

Mais les rapports entre l'éther et la matière étaient encore obscurs, et les lois des phénomènes qui avaient pour théâtre l'éther et le vide, lois relativement très simples, s'appliquaient difficilement aux milieux matériels. Pour rendre compte des phénomènes optiques et électriques des corps en mouvement, Lorentz émit l'hypothèse de l'universelle présence de l'éther, non seulement dans le vide, mais dans tous les espaces interatomiques et intramoléculaires ; il suppose de plus l'existence, dans tous les milieux matériels, de particules électrisées, séparées par l'éther et mobiles par rapport à lui (64). La découverte aujourd'hui confirmée d'électrons constitutifs des atomes chimiques, leur présence constatée dans toute matière, leur aptitude à se répandre dans l'espace avec des vitesses plus ou moins considérables ; tous ces faits donnent à la théorie électronique régnante un nouveau crédit. Aussi la tendance actuelle générale de la physique est d'expliquer tous les phénomènes en prenant pour base les propriétés des particules électrisées qui constituent la matière (65).

« Les caractères du rayonnement libre qui se manifeste sous forme d'ondes hertziennes (électriques) de lumière, de rayons

(64) LANGEVIN, *Les grains d'électricité*, p. 60.
(65) LANGEVIN, *op. cit.*, p. 61.

Röntgen, de radiations calorifiques, dépendent, dit Rougier, de la nature des électrons qui s'accélèrent et des circonstances de leur accélération, brusque ou périodique » (66).

Citons quelques exemples qui élucideront cette pensée.

Si on élève la température d'un métal, la tranmission de la chaleur est censée se faire, non par l'intermédiaire des molécules, mais par le choc des électrons avec les molécules elles-mêmes.

Si un métal est soumis à l'influence d'une force électrique, il se manifeste en lui un courant électrique. Quelle en est la cause ? Elle réside dans le mouvement d'électrons libres. Bien que ce mouvement reste une agitation irrégulière, l'orientation des vitesses dans le sens du champ électrique devient prédominante et donne naissance au courant, qui s'établit cependant sans transport de matière.

Dans les gaz et les solutions électrolytiques, ce sont les ions, c'est-à-dire des atomes ou fragments de molécules, ou des molécules mêmes, porteurs d'un ou plusieurs électrons qui constituent le courant ou déterminent la conductibilité (67).

Si un corps est isolant ou ne transmet pas l'électricité, la raison en est que les électrons sont liés aux atomes et les ions à la molécule.

La propriété caractéristique des aimants de pouvoir produire un champ magnétique est due à la présence, dans les atomes ou molécules du milieu aimanté, d'électrons qui circulent suivant des orbites fermées.

« La lumière émise par la matière, dit Langevin, nous apparaît comme l'écho lointain des changements continuels de vitesse auxquels sont soumis les grains d'électricité intérieurs à cette matière, soit par suite des chocs perpétuels auxquels donne lieu leur mouvement d'agitation thermique, soit par suite de la nécessité d'incurver leurs trajectoires pour rester à l'intérieur des atomes auxquels ils sont liés » (68).

C'est encore aux mouvements des particules électrisées que se rattachent les propriétés spectrales, le pouvoir absorbant et émissif de la matière, l'émission des particules cathodiques sous l'influence de la lumière ultraviolette.

La théorie des électrons a donc envahi tous les départements

---

(66) ROUGIER, *La matière et l'énergie*, p. 84. Paris, Gauthier-Villars. 1921. — Pour plusieurs physiciens, l'éther même deviendrait de plus en plus hypothétique. Les champs électriques et magnétiques, par exemple, qui constituent la lumière n'apparaissent plus comme des états de l'éther, mais comme des réalités individuelles que les sources lumineuses envoient dans l'espace, comme le supposait la théorie de l'émission de Newton.

(67) MANVILLE, *Les découvertes modernes en physique*, p. 176. Paris, Hermann, 1909.

(68) LANGEVIN, *Les grains d'électricité*, p. 88.

de la physique actuelle ; elle y règne en maîtresse. Il était naturel qu'elle étendît son empire dans le domaine de la chimie. Aussi, beaucoup de chimistes y font appel dans l'interprétation des phénomènes les plus caractéristiques de leur science favorite.

Pour certains, l'électron négatif constitue le lien qui unit entre elles les masses atomiques dans la combinaison chimique (69). Pour d'autres, le nombre de valences d'un atome ou d'un groupe d'atomes serait déterminé par les électrons les plus superficiels parmi ceux qui gravitent autour du noyau positif. « Le nombre de valences que possède une particule réagissante, dit W. Herz, est égal au nombre d'électrons que lui attribue la théorie de la dissociation électrolytique. Cette coïncidence entre l'atomicité et la charge électrique est tout à fait digne d'attention, car elle semble de nature à conduire à l'identification des valences et des électrons » (70).

« Le pouvoir de combinaison chimique d'un élément, écrit Soddy, doit s'expliquer par la tendance inhérente que l'atome possède soit d'attirer soit d'abandonner un ou plusieurs électrons » (71). L'union des atomes serait donc consécutive à ce transfert électronique et nécessitée par lui.

En résumé « on ne peut, au point de vue chimique, d'après Nernst, apprécier trop hautement les recherches récentes sur la théorie électronique » (72).

La théorie électronique a obtenu déjà un très grand succès sur le terrain physico-chimique. Elle a permis à la théorie électromagnétique, dont elle est le complément, de poursuivre avec plus d'assurance son œuvre de réduction de tous les phénomènes à des phénomènes électromagnétiques. Mais ce travail, les physiciens eux-mêmes en conviennent, n'est point achevé. Malgré les sérieuses promesses d'avenir, l'hypothèse soulève encore à l'heure présente de réelles difficultés et ne peut se passer, dans l'explication de plusieurs phénomènes, de certaines forces distinctes des énergies électriques et magnétiques (73).

Telles sont les idées modernes sur la constitution physique de la matière. A côté d'hypothèses hardies que les physiciens eux-mêmes n'acceptent qu'avec de grandes réserves, à côté de con-

---

(69) RAMSAY, *La chimie moderne*, 1re partie, p. 57. Paris, Gauthier-Villars, 1909.

(70) HERZ, *Les bases physico-chimiques de la chimie analytique*, p. 48. Paris, Gauthier-Villars, 1909. — LANGEVIN, *Les grains d'électricité*, p. 56.

(71) SODDY, *Le radium*, p. 308. Paris, Alcan, 1921.

(72) NERNST, *Traité de chimie générale*, p. 461. Hermann, 1911.

(73) LANGEVIN, *La dynamique électromagnétique*, p. 114 (Les idées modernes). Paris, Alcan, 1913. — H. POINCARÉ, *Science et méthode*, p. 247. Paris, Flammarion, 1909. — HENRIQUEZ, *Les concepts fondamentaux de la Science*, pp. 246 et suiv. Paris, Flammarion, 1913.

ceptions vraisemblables mais qui dépassent la portée actuelle de l'expérience, nous avons rencontré un certain nombre de faits nouveaux dont le cosmologue ne peut se désintéresser, parce qu'ils jettent un jour nouveau sur la constitution métaphysique de la matière. Nous aurons l'occasion d'examiner ces faits au cours de ce traité, et de déterminer leur exacte portée cosmologique.

26. Définition. — La cosmologie est *l'étude philosophique du monde inorganique.*

Dans cette formule succincte se trouvent indiqués, d'une part, l'objet matériel que la cosmologie se propose de faire connaître : c'est le monde inorganique ; d'autre part, l'objet formel, ou l'aspect spécial sous lequel elle va l'envisager : c'est le point de vue philosophique.

27. Objet matériel de la cosmologie. — D'après le sens étymologique du mot, κόσμος = monde, et λόγος = science, la cosmologie devrait embrasser l'ensemble des êtres qui constituent l'univers, les êtres vivants aussi bien que la matière inanimée. C'est l'extension que lui donnent la plupart des auteurs, lorsqu'ils la définissent : « l'étude des *corps* au point de vue de leurs caractères généraux ».

Notre définition est plus restrictive ; elle limite le domaine cosmologique au monde inorganique. En voici la raison. Comme son nom l'indique, la psychologie s'occupe de l'âme, c'est-à-dire du premier principe de vie chez les êtres vivants. Or, ce premier principe d'activité immanente ne se trouve pas seulement dans l'homme, mais aussi dans l'animal et le végétal. L'étude philosophique de ces trois classes d'êtres où se manifeste une vraie activité vitale, est donc du ressort de la psychologie ; le cosmologue n'a rien à y voir.

Il est vrai que les auteurs, partisans d'une définition plus large, font abstraction de la vie chez les êtres qui en sont doués, pour ne les considérer que sous leur aspect purement matériel, en un mot, pour ne voir en eux que l'être corporel.

Mais c'est là une abstraction que rien ne justifie.

Le premier principe de vie dans la plante ou dans l'animal n'est pas une réalité que l'on puisse analyser complètement sans étudier en même temps le corps où il est réalisé. Pour en saisir l'existence et la nature il faut, au contraire, un examen minutieux de l'être tout entier, c'est-à-dire de sa constitution intime et des phénomènes qui la trahissent. En se livrant à cette recherche, le psychologue se trouve donc dans l'impossibilité de faire abstraction de l'être corporel comme tel et d'abandonner à une autre branche de la philosophie cet objet d'investigation.

De son côté, le cosmologue se livre aussi à une entreprise vouée d'avance à un échec certain, s'il veut s'occuper de l'être

vivant sans aborder la question du premier principe de vie qui l'anime. Comment établir, en effet, l'existence des principes constitutifs qui en font un corps sans prouver du même coup qu'il est un corps vivant ? Dans l'espèce, la méthode cosmologique donnera toujours le même résultat que la méthode psychologique.

Sans doute, au cours de son étude de la vie végétative ou animale, le psychologue rencontre parfois des notions que la cosmologie a pour mission d'élucider. Dans ce cas, il les lui empruntera : toute science ne doit-elle pas emprunter ses principes fondamentaux aux autres sciences dont elle est tributaire ?

D'ailleurs, il est faux que la cosmologie ait pour unique objectif la notion générique du corps. Sa mission primordiale est de mettre en lumière les causes réelles mais dernières du monde matériel. Lorsqu'elle aborde l'étude des causes substantielles, il ne lui suffit donc pas d'établir les constitutifs génériques de l'essence corporelle ; elle doit pénétrer jusqu'aux principes spécifiques, sous peine de ne rien expliquer. L'existence des natures essentiellement distinctes les unes des autres et irréductibles entre elles, même dans le monde inorganique, ne fut-elle pas toujours la thèse fondamentale de la cosmologie aristotélicienne ? Preuve nouvelle que la cosmologie manquerait son but principal si, devant s'étendre à l'être vivant, elle se bornait à n'en examiner que l'état purement matériel, sans relever la différence d'ordre qui distingue la vie organique de la matière inorganisée.

Dès lors, de deux choses l'une : ou bien il faut englober dans le champ cosmologique tous les êtres vivants comme tels ; ou bien il faut restreindre la cosmologie au monde inorganique et réserver à la psychologie le domaine de la vie sous toutes ses formes. C'est cette dernière délimitation que nous avons adoptée dans notre définition (74).

28. Comment déterminer l'objet formel de la cosmologie ? — Le monde inorganique est l'objet de plusieurs sciences : la physique, la chimie, la géologie, la cristallographie, la minéralogie

---

(74) En fait, plusieurs auteurs, notamment J. de la Vaissière, ont adopté la première classification indiquée plus haut. Cfr. *Philosophia naturalis*, vol. I et II, Paris, Beauchesne, 1912. Sous le nom de *philosophie naturelle*, ils comprennent l'étude de la matière minérale, de la vie végétative et sensitive, de la vie rationnelle, de l'homme et du monde en général. Pareille classification nous paraît logique, car elle embrasse la nature considérée sous tous ses modes d'être. La cosmologie, telle que nous l'entendons, se distingue nettement de la psychologie, mais ces deux disciplines prennent place à côté l'une de l'autre sous un titre plus large. Nous avons préféré la seconde classification, à cause des nécessités de l'enseignement et aussi parce que le monde minéral constitue à lui seul un sujet d'étude philosophique suffisamment vaste et forme un tout bien délimité. Cependant, pour éviter toute équivoque, nous avons donné pour titre à notre travail *Etude philosophique du monde inorganique, ou cosmologie ;* le titre « Philosophie naturelle » étant d'une extension trop grande pour notre sujet.

y consacrent leurs patientes recherches et s'efforcent de découvrir les lois qui le régissent, l'ordre admirable qui y règne.

Toutes ces sciences ont le même objet matériel, la nature inanimée. Toutes cependant ont leur physionomie propre, leur individualité. D'où tiennent-elles ce caractère distinctif ? De leur objet formel. C'est en effet cette manière spéciale de considérer la matière brute qui donne à chaque science son orientation particulière, inspire ses procédés d'investigation et sa méthode, trace d'avance le cadre plus ou moins restreint des vérités qui constitueront son domaine.

Mais en présence de toutes ces branches qui se partagent l'étude de la matière inorganique, on se demande si l'intelligence ne s'est pas emparée déjà de toutes les voies qui doivent la conduire à la découverte complète des secrets de la nature, s'il reste encore un champ inexploré pour cette partie de la philosophie, appelée cosmologie.

Le moyen le plus simple de résoudre cette question est de délimiter graduellement le terrain exploité par chacune des sciences naturelles ; l'au-delà de leurs frontières respectives deviendra de la sorte la sphère d'action réservée aux études cosmologiques.

29. Objet formel des sciences qui étudient le monde inorganique : physique, cristallographie, minéralogie, chimie, géologie. — 1° La *physique* a pour objet les propriétés communes de la matière. Elle étudie la pesanteur, le son, la chaleur, l'électricité, le magnétisme, la lumière, ainsi que le mouvement local qui accompagne l'exercice de toutes ces forces. En fait, ces propriétés se trouvent réalisées dans tous les corps ou peuvent s'y exercer dans des circonstances déterminées : aucune substance corporelle n'est d'elle-même soustraite à la force mystérieuse qui l'incline à tomber ; chacune d'elles a l'aptitude de produire le son ou d'en être le véhicule ; toutes sont capables, quoique à des degrés très différents, d'être le siège de phénomènes électriques et magnétiques. Ainsi en est-il de la lumière et de la chaleur.

A la physique appartient la mission de nous faire connaître les manifestations et les effets passagers et accidentels de ces propriétés, de déterminer les causes capables d'en provoquer l'éveil, de tracer les lois de leur activité et les liens qui les rattachent entre elles.

Le physicien saisit donc la matière inorganisée sous un espect spécial, il n'en atteint que l'écorce. Ce morceau de plomb qui tombe suivant une ligne verticale, cette flamme qui dilate le barreau de fer, ces rondelles métalliques qui se compriment mutuellement dans un rapide mouvement de rotation et donnent naissance à l'étincelle électrique, ces corps, il n'en cherche ni la nature ni la

composition ; ils n'ont d'intérêt pour lui que dans la mesure où ils font ressortir ces forces communes.

2° La *cristallographie* s'occupe d'un état particulier des substances matérielles, l'état cristallin. Voici un morceau de fluorine qui présente la forme géométrique du cube ; comme tel, il se trouve tout formé dans la nature ; à côté de cette forme, nous en rencontrons des milliers d'autres et des plus diverses. Leur multiplicité et leurs variétés innombrables étonnent ; au premier aspect, elles semblent jeter le défi à qui voudrait chercher le secret de leur formation et les liens de parenté qui les unissent.

Le cristallographe a tenté de suivre la nature dans ce travail.

A la lumière de sa théorie cristalline, il décrit la genèse du cristal sensible en pénétrant jusqu'à l'embryon cristallin lui-même.

Toutes ces formes multiples il les répartit en six grandes familles appelées *systèmes,* et dans chacune de ces familles il choisit une forme fondamentale qui lui permet d'en déduire toutes les autres, à l'aide de troncatures, biseaux ou pointements réglés par les lois de symétrie et de rationalité des paramètres.

A cet état parfait de la matière se rattachent de nombreuses propriétés physiques dont le caractère spécifique sert souvent de critérium de spécification dans l'étude des échantillons extérieurement mal définis. Le cristallographe détermine les influences puissantes de la forme sur ces propriétés ; il en formule les lois, en demandant à la physique le tribut de ses instruments, de ses méthodes et de ses théories.

Enfin, il recherche quelle relation il y a lieu d'établir entre ces formes diverses et les substances qui les revêtent ; il justifie par un vaste ensemble de faits cette loi d'une souveraine importance, énoncée par l'abbé Haüy au siècle dernier : « A toute espèce chimique correspond une forme cristalline spécifique » (75).

Pas plus que la physique, la cristallographie ne scrute le fond intime des substances corporelles ; elle limite son étude à un des états particuliers de la matière, c'est-à-dire à sa forme la plus gracieuse, la *forme cristalline.*

3° Dans la sphère de la *minéralogie* rentrent tous les corps *solides* dont l'ensemble forme la croûte du globe : le limon dont les couches plus ou moins profondes endiguent les fleuves et les rivières, les masses dures et compactes qui constituent le rocher, la houille stratifiée dans les entrailles profondes de la terre, la craie, le marbre, les métaux enfin sous toutes leurs formes simples ou composées. A chacune de ces substances le minéralogiste donne un nom. Il en trace le signalement complexe, où se trouvent

(75) De nombreuses expériences récentes ont prouvé que cette loi est moins rigoureuse qu'on l'avait cru. Nous examinerons plus loin les exceptions qu'elle comporte.

relevées toutes les particularités scientifiques du corps : le poids spécifique, la dureté, la fusibilité, la couleur, l'éclat, la composition chimique, et souvent même la forme cristalline spécifique.

D'après leurs analogies physiques et chimiques, ou même d'après leurs affinités de gisement, ces minéraux se répartissent en groupes ou en tribus.

On le voit, la minéralogie, elle aussi, demande à la chimie son concours ; c'est d'elle qu'elle reçoit ces formules abréviatives qui expriment le nombre d'éléments constitutifs des espèces minérales et leurs rapports pondéraux.

Comme telle, la minéralogie n'a point à rechercher les origines de ces nombreuses substances. Il lui importe peu de savoir à quelle époque plus ou moins lointaine, ou dans quelles circonstances physiques, se sont formés les couches cristallines qui tapissent les parois d'un filon, les terrains ferrugineux, manganifères, houillers, calcareux ou autres, bref les seize cents espèces minérales connues aujourd'hui. La minéralogie s'empare de ces minéraux tels que la nature les lui fournit, pour en donner le signalement et les grouper d'après leurs analogies.

Elle devient ainsi l'étude *descriptive* des minéraux dont se compose la croûte du globe.

4° La *chimie* pénètre beaucoup plus avant dans l'analyse des substances corporelles. Tandis que les autres sciences que nous venons de considérer se confinent dans l'étude des manifestations extérieures des corps, et des phénomènes qui tombent sous les prises de l'observation, la chimie scrute leur fond intime, leur composition même. Prenez quelques gouttes de mercure liquide appelé vulgairement *vif argent ;* chauffez-les dans une atmosphère d'oxygène gazeux. Sous l'influence de la chaleur il se formera bientôt un corps solide, une poussière d'un rouge vif dont on pourrait bien difficilement soupçonner l'origine, si l'on n'était quelque peu initié aux mystères de la chimie. Le fait qui s'est produit est une *combinaison chimique :* deux corps essentiellement distincts, aux propriétés les plus disparates, l'oxygène et le mercure, se sont influencés mutuellement et par l'exercice de leurs affinités natives, stimulées par la chaleur, se sont transformés en un corps nouveau appelé *oxyde de mercure.* Le microscope et les instruments d'optique les plus perfectionnés ne peuvent plus y déceler la présence ni de l'un ni de l'autre des générateurs de cette substance, car elle a de nombreuses qualités qui lui sont propres et ne conviennent à aucun de ses composants ; c'est un corps nouveau issu de leur mutuelle action et de leur intime union, mais qui pourra, si on le veut, restituer ses générateurs à l'état de liberté. En effet, soumettez ce corps nouveau à une température élevée, il se décomposera et, au lieu d'une poussière rouge, vous trouverez bientôt

dans le bocal un corps gazeux incolore, l'oxygène, un liquide d'un gris d'argent, le mercure. Ce fait, inverse du premier, est une *décomposition chimique ;* une substance s'est transformée en deux autres.

Combinaison et décomposition : ces deux mots résument la chimie entière.

La chimie se donne pour objet la composition et les transformations profondes et durables des substances corporelles.

Pour nous en donner l'intelligence, elle dépeint les caractères des *facteurs* qui interviennent dans ces modifications intimes : elle décrit leurs propriétés physiques, leur affinité chimique, leur atomicité, les conditions de leur activité. Puis, elle saisit l'action sur le vif et nous fait assister aux phénomènes qui *accompagnent* leur union, notamment les phénomènes thermiques, électriques et lumineux. L'action a eu lieu, un *corps nouveau* s'est formé au terme de la transformation intime. Ce corps apparaît avec des propriétés et des aptitudes nouvelles ; la chimie en donne une description détaillée qui est à la fois l'expression des analogies et des différences profondes existant entre le composé et ses composants isolés.

Ainsi en est-il de la combinaison, ainsi en sera-t-il de la décomposition.

Mais cette description n'est que l'exposé des manifestations extérieures d'un phénomène plus intime.

Ce phénomène, le chimiste l'aborde ; à l'aide de l'analyse, il dissèque le composé, il recherche les composants et les rapports de poids suivant lesquels ils se sont associés.

Il essaie même de pénétrer plus avant encore : guidé par une hypothèse vraisemblable due aux physiciens Avogadro et Ampère ; s'inspirant parfois des méthodes découvertes récemment par Raoult et Van t' Hoff ; usant d'autres fois de l'isomorphisme ou de la méthode chimique proprement dite, etc., il s'efforce de déterminer le poids de la plus petite quantité de matière qui soit capable d'exister en liberté et de représenter le corps sensible, en un mot la molécule.

De toutes les sciences naturelles, nulle ne pousse aussi loin que la chimie l'analyse de la nature inanimée.

5° La *géologie* se place à des points de vue plus généraux. Elle peut se définir : l'étude de l'ordre suivant lequel les matériaux du globe ont été déposés dant le temps et dans l'espace (76). Loin de se borner à la considération des *espèces simples* qui constituent l'écorce terrestre et que le minéralogiste a déjà classées, le géologue embrasse les agglomérations plus ou moins considé-

(76) DE LAPPARENT, *Traité de géologie,* t. I, p. 5.

rables de particules minérales rassemblées par les lois naturelles. Ces agglomérations ou roches qui concourent à la formation des différents terrains résultent de phénomènes mécaniques, physiques et même physiologiques. Le géologue recherche leur origine, leur mode de formation. L'œil fixé sur les phénomènes actuels qui ne cessent de modifier l'écorce terrestre (77), il essaie de faire l'histoire du passé de la terre : que fut notre globe au début de son existence ; quelles modifications lentes et progressives la suite des âges lui a-t-elle fait subir ; quelle est enfin la raison de sa configuration actuelle ?

30. Objet formel de la cosmologie. — Le faisceau de ces diverses sciences n'embrasse-t-il pas tous les aspects sous lesquels le monde inorganisé peut être l'objet de l'observation ou de l'expérimentation : les propriétés communes de la matière, son état parfait ou la forme cristalline, le signalement de toutes les espèces minérales et leur classification, les transformations profondes de toutes les substances solides, liquides ou gazeuses, enfin l'histoire générale du globe, ne semble-t-il pas que rien n'ait été négligé ?

Malgré tout, l'esprit humain ne se déclare pas encore satisfait. Pour chacune de ces sciences il reste un *au-delà,* que les procédés et les méthodes d'investigation scientifique n'ont pu atteindre et que l'intelligence est impatiente de connaître.

C'est sur cet *au-delà* que la philosophie de la nature essaie de répandre la lumière.

1° La *géologie,* en retraçant l'histoire du globe, a reporté la pensée jusqu'aux âges les plus lointains ; si loin cependant qu'elle remonte dans le cours des siècles, cette histoire part d'un fait, celui de l'existence de la matière.

Cette matière, peu importe d'ailleurs son état initial, d'où vient-elle ? Est-elle nécessaire, éternelle, et renferme-t-elle le principe suffisant de son existence, comme l'affirment les panthéistes ? Ou n'est-elle pas plutôt, comme semble l'exiger son caractère de mutabilité et de contingence, l'œuvre d'une création divine essentiellement distincte de son auteur ?

Cette question est celle de l'*origine* toute primordiale, de la *cause efficiente première* de la matière.

2° La *chimie* nous montre comment l'univers matériel résulte des combinaisons diverses d'un nombre restreint d'espèces élémentaires. Ces substances primordiales *simples,* c'est-à-dire, dans l'état actuel de la science, *chimiquement indécomposables,* qui offrent

---

(77) L'étude des phénomènes actuels est cependant insuffisante quand il s'agit de phénomènes qui ne se reproduisent plus visiblement aujourd'hui, tels les failles, les plissements, etc.. Il faut y ajouter des interprétations basées sur le raisonnement. Cfr. Revue Générale des Sciences, 28 février 1921. p. 114.

tant de différences entre elles, au point de vue de leurs proprétés, n'ont-elles point chacune une constitution propre ? Ou bien, la base matérielle que voile cette multitude de phénomènes n'est-elle qu'un substrat homogène, identique dans toutes ces espèces chimiques ?

L'atomisme philosophique ou le mécanisme cartésien soutient cette dernière hypothèse : l'homogénéité de la matière et la réduction de toutes les forces au mouvement local constituent ses dogmes fondamentaux. Pour le dynamisme au contraire, les masses matérielles résultent d'une agglomération de forces simples inétendues.

Entre ces deux extrêmes se place la théorie scolastique. D'après ce système, tous les corps de la nature sont constitués de deux principes essentiels : l'un, commun à toute masse corporelle, est le substrat permanent des transformations profondes de la matière ; l'autre, spécial à chaque corps, fournit la raison dernière de ses caractères spécifiques.

Ce problème, on le voit, a pour objet les causes constitutives ultimes des substances chimiquement *simples*.

Ce n'est pas tout. Le chimiste suit la nature dans les phases multiples de son évolution, et à chaque étape, pour chaque composé nouveau, il nous donne une description détaillée du changement subi par la matière. Le dernier terme de son analyse est une formule abréviative qui indique les générateurs immédiats et leurs poids respectifs, voire même le poids relatif du nouvel individu chimique ou de la molécule.

Néanmoins, si loin qu'il ait pénétré dans l'étude du composé, il reste un au-delà, car l'esprit s'interroge naturellement sur la raison dernière des propriétés caractéristiques du corps nouveau. Ces modifications si profondes ont-elles simplement effleuré l'écorce des masses matérielles génératrices du composé ? N'ont-elles pas eu leur répercussion dans la substance même ? En d'autres termes, les corps simples qui l'ont formée conservent-ils leur individualité respective, ou se sont-ils transformés en une individualité nouvelle, qui en serait le substitut naturel ?

Cette question vise les causes constitutives du *composé*.

Un seul et même problème de philosophie se pose donc au sujet des corps simples et des corps composés de la chimie : le problème des *causes constitutives dernières* du monde inorganique.

3° La *physique*, la *minéralogie*, la *cristallographie*, se proposent chacune comme idéal, dans leur sphère propre, la découverte d'une partie spéciale de l'ordre qui régit les activités et les manifestations sensibles de la nature matérielle.

Cet ordre résulte de l'ensemble harmonieux des lois naturelles.

L'intelligence, malgré la joie qu'elle ressent en découvrant ces

lois, n'en éprouve pas moins le désir de connaître leur caractère intime, la raison de leur constance à travers les changements incessants qui se produisent dans les conditions d'activité des êtres. Puis, embrassant dans une vue d'ensemble l'univers matériel, elle va à la cause intime de cet ordre universel, et se demande si les harmonies de la nature ne révèlent point l'existence d'une cause ordonnatrice suprême dont le monde corporel reproduirait adéquatement le plan.

Or, l'ordre ne se conçoit pas sans fin, car la fin en est à la fois le but et le principe directif : c'est du but que dépendent le choix, la coordination et, au point de vue dynamique, la subordination des moyens.

Nous voici donc en présence d'un dernier problème, celui de la fin dernière de cet univers matériel, la *cause finale :*

En résumé, au delà des frontières des sciences spéciales, la cosmologie a trois questions d'ordre supérieur à résoudre :

Quelle est la cause efficiente première du monde inanimé ?
Quelles en sont les causes constitutives ultimes ?
Quelle en est la cause finale ?

Ces trois questions résument l'objet formel de la cosmologie ; elles se trouvaient contenues dans un des termes de notre définition initiale : la cosmologie est l'étude *philosophique* du monde inorganique. A la philosophie, en effet, et à elle seule, est dévolu le droit et le devoir de faire connaître les êtres par leurs causes dernières.

31. La cosmologie est une science spéciale mais complémentaire des sciences physiques. — Nous l'avons dit, là où s'arrêtent les sciences naturelles, commence le domaine de la cosmologie.

Celle-ci n'est donc que le prolongement, ou plutôt le complément ultime des études scientifiques. S'il en est ainsi, pourquoi faut-il lui donner une place spéciale, en faire une science distincte des autres ? Pourquoi les savants ne peuvent-ils pas, sans dépasser les frontières de leur branche respective, pousser plus loin leurs investigations et tenter de résoudre les questions qu'il nous a plu de réserver au cosmologue ?

La raison en est que l'extension de l'objet formel de la cosmologie déborde nécessairement la méthode et la sphère des sciences naturelles.

Examinons d'abord la question de la *cause efficiente* dernière du monde matériel.

La seule science qui pourrait revendiquer le droit de la résoudre, c'est la géologie. Or, à raison même de sa méthode, elle doit s'interdire cette recherche. Pour retracer le passé de la terre, le géologue a comme unique ressource l'étude des phénomènes

actuels qui modifient la configuration terrestre et concourent à la formation des terrains nouveaux. C'est à la lumière de ces faits qu'il remonte le cours des âges et parvient à déterminer l'état initial de notre globe. A moins de renoncer à la méthode essentielle à cette science, il doit forcément limiter ses recherches aux transformations successives de la matière et en présupposer l'existence.

Bien plus, quelque longue que soit la chaîne des événements écoulés dont il retrace l'histoire, il ne peut jamais se glorifier d'en avoir atteint le premier anneau ; car, comme le dit saint Thomas, à ne consulter que la raison, nul ne saurait prouver que notre univers n'a pas un éternel passé. S'il lui plaît de sortir de cette voie, de soulever la question d'origine de cette matière transformable — et personne ne lui en ferait un grief — ce n'est plus en qualité de géologue qu'il la traitera, mais en qualité de philosophe.

Ainsi en est-il de la *cause finale*. Cette question embrasse les destinées du monde et l'ordre universel qui préside à l'évolution finaliste de la matière. L'ordre cosmique est sans doute le grand objectif des sciences naturelles ; mais chacune d'elles n'a pour mission que d'en mettre en relief une partie plus ou moins restreinte. Aussi existe-t-il autant d'ordres que de sciences particulières : l'ordre chimique, l'ordre physique, l'ordre cristallographique, etc. En fait cependant, tous ces ordres spéciaux ne sont que des points de vue abstraits et particularistes d'un seul et même ordre universel réalisé dans la matière et tenant d'elle son principe et sa cause commune. Pour découvrir ce principe explicatif foncier et son aboutissement ultime, il faut donc une vue d'ensemble, un aperçu synthétique de l'ordre général et un procédé que ni le chimiste, ni le physicien, ni le cristallographe ne peuvent utiliser sans sortir de leur domaine respectif.

Enfin, le problème des *causes constitutives* des êtres corporels exige lui aussi, et plus que tout autre, des aperçus généraux nécessairement étrangers aux spécialisations des sciences. Notre intelligence n'est pas assez pénétrante pour atteindre d'emblée la nature intime des causes substantielles ; elle n'y arrive que par l'étude des phénomènes qui en sont autant d'expressions partielles. De là, la nécessité pour elle de fixer constamment son regard sur l'ensemble des propriétés chimiques, physiques, cristallographiques, et partant de faire de larges emprunts, non à telle ou telle science particulière, mais à toutes les sciences naturelles qui étudient, sous des aspects divers, les manifestations de la nature corporelle. On le voit, ici encore ce genre de recherches déborde forcément les cadres scientifiques.

32. Objet secondaire de la cosmologie. — Bien que la recherche des causes dernières de l'ordre cosmique constitue le but primordial, essentiel de la cosmologie, il n'en suit nullement que l'étude de la nature des phénomènes doive être exclue du domaine cosmologique. Elle en forme, au contraire, une partie importante. C'est en effet par les phénomènes que se révèlent la nature intime des êtres, leurs destinées naturelles et en partie même leur origine. Le cosmologue a donc pour tâche de déterminer, autant que possible, les caractères essentiels des réalités phénoménales et la raison des lois qui les régissent, à la lumière de toutes les données expérimentales des sciences physico-chimiques.

Cette étude, d'ailleurs, s'impose d'autant plus que les sciences actuelles ont renoncé à la prétention de nous faire connaître toute la richesse du phénomène. L'expérience, telle est l'unique source des connaissances qu'elles cherchent à découvrir. Or, le phénomène, tel qu'il tombe sous les prises de nos sens externes, n'est d'ordinaire qu'un des aspects de la réalité objective, une partie de son être intégral.

Malgré sa réelle importance, cet objet est cependant secondaire, car les propriétés constituent une résultante de la substance et ne sont elles-mêmes que des moyens dont l'être se sert pour atteindre sa fin naturelle.

33. Définition défectueuse de la cosmologie. — Notre définition accorde une très large place à la métaphysique : elle assigne à la cosmologie, comme objet principal de recherches, tout un ensemble de causes qui dépassent l'expérience ou qui du moins n'en sont pas une expression ou synthèse immédiate.

Pareille définition doit naturellement compter comme adversaires tous ceux qui refusent à la raison le pouvoir d'atteindre l'essence substantielle ou accidentelle des choses, c'est-à-dire les réalités douées d'une valeur universelle et absolue. Pour tous ces philosophes, qu'on les appelle positivistes, néo-positivistes, kantiens, pragmatistes ou phénoménistes, la cosmologie ou philosophie naturelle devient *la systématisation des sciences* (78).

Accepter les enseignements de la science positive et n'accepter qu'eux seuls, systématiser ces données expérimentales, les grouper en des vues synthétiques qui se superposent aux vues, nécessairement particularistes, des diverses sciences, tel est, pour un grand nombre de philosophes actuels, le rôle de la philosophie naturelle.

Les uns lui attribuent une valeur réelle mais relative à notre constitution, à nos moyens de connaître, à l'époque même de son acquisition.

---

(78) Cf. De la Vaissière, *Philosophia naturalis*, I vol., p. 207, Paris, Beauchesne, 1912.

D'autres voient dans cette systématisation de l'expérience un instrument utile pour le développement de la vie humaine, et mesurent la valeur de cette synthèse finale à son utilité pratique.

Pour d'autres enfin, le philosophe n'aurait même pas le droit d'affirmer *a priori* que les diverses sciences spéciales doivent nécessairement converger et aboutir à une synthèse. Son rôle consisteraît donc à tenir le registre exact des conceptions scientifiques en cours, à écrire, sous la dictée des spécialistes, le procès-verbal fidèle de leurs tentatives et de leurs théories. C'est la pensée qu'exprime M. Rey quand il nous dit : le philosophe ne peut être que « l'historien de la pensée scientifique contemporaine », ou encore : « la philosophie est, en un mot, la science positive tout court » (79).

La critique de ces systèmes (80) et de leurs conséquences appartient à la critériologie. Qu'il nous suffise de remarquer que leur défaut général est une défiance exagérée à l'égard de la valeur de l'intelligence humaine. Lui restituer ses prérogatives naturelles, lui reconnaître le pouvoir d'atteindre non seulement la réalité du sensible, mais les réalités plus profondes, substantielles et accidentelles, c'est du même coup distinguer les sciences de la cosmologie et attribuer à celle-ci un objet qui est, en fait, inaccessible aux autres.

34. Division de la cosmologie. — La cosmologie comprend trois parties qui ont respectivement pour objet :

1° L'origine du monde inorganique ou sa cause efficiente primordiale ;

2° Sa constitution intime ou ses causes constitutives ultimes ;

3° Ses destinées ou sa cause finale.

Trois mots résument donc toute la matière : D'où vient le monde inorganique ? Qu'est-il ? Quel est son but ?

De ces trois problèmes, il en est un d'une importance spéciale: c'est celui des principes constitutifs de la matière inanimée. Les deux autres semblent n'en être que des corollaires.

S'agit-il, en effet, de prouver l'existence de la cause efficiente première du monde matériel, l'esprit humain rencontre les doctrines panthéistiques et matérialistes qui prétendent découvrir, dans la nature même des êtres, le principe de leur prétendue nécessité et

---

(79) A. Rey, *La Philosophie moderne,* pp. 1-32, Paris, Flammarion, 1908.

(80) Les rapports entre la philosophie et les sciences ont été diversement interprétés. Pour certains savants, la philosophie doit s'absorber progressivement dans les sciences, pour d'autres, il existe une opposition radicale entre ces deux sortes de discipline. Entre ces deux opinions extrêmes se rencontrent divers degrés de fusion et de conciliation partielle. Cf. D. Parodi, *Science et Philosophie (Revue du Mois,* 10 janvier 1914), pp. 46-65.

partant de leur éternelle existence. Etablir au moyen des faits eux-mêmes la contingence et les vrais caractères de la substance matérielle, n'est-ce pas atteindre ces erreurs dans leurs principes et assurer à l'intelligence une ascension facile vers la cause supra-mondaine ?

D'autre part, n'est-il pas aussi naturel de rechercher, dans la constitution des corps, la raison ontologique de leurs manifestations et de l'ordre qui les régit ? Or, de là à la cause finale, il n'y a qu'un pas.

Les deux problèmes de l'origine et de la destinée du monde inorganique se rattachent donc, par les liaisons les plus étroites, à celui des causes constitutives dernières.

C'est la raison pour laquelle nous choisissons ce dernier problème comme objet de ce traité.

PREMIER TRAITÉ

LES PRINCIPES CONSTITUTIFS DU MONDE INORGANIQUE

35. Méthode cosmologique. — Déjà, dans ses premières démarches, l'intelligence de l'homme atteint l'essence des corps ; elle n'en peut saisir les manifestations accidentelles sans pénétrer du même coup jusqu'à l'être caché qui en est le siège et le support. Mais cette connaissance intuitive est vague et confuse ; la preuve en est dans les termes de *sujet* et de *cause* qui servent à la traduire. Pour perfectionner cette connaissance rudimentaire, que faisons-nous ? Nous interrogeons les phénomènes, et, à la lumière de leurs révélations, nous allons à la recherche des caractères de la substance dont ces phénomènes semblent être les reflets.

La connaissance scientifique des essences corporelles est donc nécessairement *discursive,* et le procédé pour y atteindre est l'étude des phénomènes sensibles ; tel est le procédé de la cosmologie. Aussi, rien n'est plus opposé à son caractère distinctif que l'apriorisme.

A raison même de cette méthode, la cosmologie devient la tributaire obligée des sciences qui se partagent l'étude de l'univers matériel, car c'est aux sciences naturelles qu'est dévolu le rôle d'étudier les propriétés sensibles de la matière, de les décrire, de nous en donner la mesure, de formuler les lois qui les régissent.

Conformément à ces exigences, notre méthode consistera dans un examen impartial de tous les faits qui peuvent avoir une portée philosophique. Nous les emprunterons à la physique, à la cristallographie, à la chimie, bref à toutes les sciences destinées à nous révéler les caractères et les lois des phénomènes naturels.

« L'expérience pure, dégagée des additions théoriques qui peuvent l'altérer dans l'état actuel de la connaissance scientifique, s'impose nécessairement, écrit M. Rey, à l'acceptation du métaphysicien » (81).

Telle est aussi la pensée de M. Duhem.

« Le métaphysicien a-t-il ou n'a-t-il pas à tenir compte des dires du physicien ? »

« Au sujet des faits d'expérience, la question, dit-il, n'a pas été posée, car la réponse ne saurait être douteuse : il est clair que le philosophe de la nature doit tenir compte de ces faits, de ces lois. Les propositions, en effet, qui énoncent ces faits, qui for-

(81) Rey, *La théorie de la physique,* p. 162. Paris, Alcan, 1907.

mulent ces lois ont, ce que ne possèdent pas les propositions purement théoriques, une portée objective. Elles peuvent donc être en accord ou en désaccord avec les propositions qui composent un système cosmologique ; l'auteur de ce système n'a pas le droit d'être indifférent à cet accord qui apporte à ses intuitions une confirmation précieuse, à ce désaccord qui est pour ses doctrines, une condamnation sans appel » (82).

36. Quelle attitude la cosmologie doit-elle prendre à l'égard des théories physiques ? — Il importe de distinguer dans les sciences physiques deux parties très différentes l'une de l'autre : l'une comprend les résultats immédiats et incontestés de l'observation ou de l'expérimentation ; ce sont les faits et les lois. Tous les physiciens en conviennent, ces données expérimentales sont objectives et le cosmologue doit les prendre pour guide dans ses investigations philosophiques.

Pour M. Poincaré, la physique, considérée de ce point de vue, « est même ce qu'il y a de plus objectif, parmi ce que nous sentons, percevons ou connaissons » (83). Elle a la même valeur que notre croyance aux objets extérieurs ; seulement, pour lui, « la seule réalité objective, ce sont les rapports des choses d'où résulte l'harmonie universelle » (84). L'objet réel de la science n'est donc pas ce qu'il y a de fuyant, de mobile et d'individuel dans le phénomène ; ce sont les relations interphénoménales, dépouillées de leurs nuances et réduites à ce qu'elles ont de stable et de général. Le fait scientifique n'est même, à son avis, que le fait brut exprimé en langage plus précis et plus commode. « Tout ce que le savant crée dans un fait, c'est le langage dans lequel il l'énonce » (85).

Mais à côté de ces faits et de ces lois, il y a la théorie proprement dite. Et à son sujet tout autre est le langage des physiciens modernes.

En général, la théorie physique est considérée comme un instrument de classification, un moyen de systématisation qui, par lui-même, n'est ni vrai ni faux, mais peut être plus ou moins utile, plus ou moins commode, plus ou moins naturel.

« On ne croit plus aujourd'hui, écrivent MM. Urbain et Sénéchal, que les théories doivent être vraies. Une telle expression nous semble même vide de sens. Faire une théorie, c'est ramener la variété infinie des faits à un minimum d'idées. Aussi l'on com-

---

(82) DUHEM, *Physique de croyant (Annales de philosophie chrétienne,* novembre 1905, p. 143).

(83) H. POINCARÉ, *Sur la valeur de la Science (Revue de métaphysique et de morale,* mai 1902, p. 290).

(84) H. POINCARÉ, *La valeur de la Science,* p. 273. Paris, Flammarion, 1908.

(85) H. POINCARÉ, *Sur la valeur de la Science (Revue de métaphysique et de morale,* mai 1902, pp. 272-273).

prend que des théories différentes puissent simultanément atteindre ce but » (86).

M. de Heen est plus radical : « Le but principal à poursuivre dans les sciences physiques consiste donc, dit-il, à trouver une méthode capable de relier logiquement entre eux les faits que la nature nous présente et à tâcher d'établir ainsi l'unité dans cette science actuellement hétérogène ; cela, sans préoccupation de la question de savoir si l'hypothèse correspond à la réalité ou n'y correspond pas » (87).

A s'en tenir au jugement des physiciens, il semble donc que le cosmologue peut et doit rester complètement indifférent à l'égard des théories physiques.

A notre avis, il y a lieu cependant de distinguer et d'examiner séparément les diverses théories admises par les savants contemporains. Si le but final est toujours le même, le moyen de le réaliser diffère ; les grandes théories qui dominent la science actuelle ont leur physionomie propre et leur méthode spéciale de classement ; elles peuvent, dès lors, exercer éventuellement des influences différentes sur la conception des données expérimentales qu'elles ont mission de systématiser.

37. Portée cosmologique des principales théories physiques. — La *théorie énergétique* (88), dont M. Duhem est un des principaux représentants, est une construction rationnelle et abstraite, basée sur les principes fondamentaux de la thermodynamique, savoir, le principe de la conservation de l'énergie, le principe de Carnot et le principe de moindre action. Elle s'interdit toute hypothèse sur la nature des phénomènes, tout essai de réduction des propriétés à un type unique, tout emploi d'éléments figuratifs empruntés au mouvement local. Elle est donc essentiellement une méthode descriptive des énergies de l'univers, de leurs transformations, des lois qui les gouvernent. Pour mesurer ces énergies et symboliser leurs lois, elle emploie des formules mathématiques, construites *a priori*, c'est-à-dire indépendamment de l'expérience.

Pour M. Duhem (89) la théorie ne doit coïncider avec la réalité que lorsqu'elle est complètement achevée. En attendant cet achèvement, elle n'a qu'une valeur instrumentale et méthodologique. En un mot, bien que l'expérience n'ait aucune part d'intervention dans la construction de la théorie mathématique, celle-ci doit,

---

(86) URBAIN et SÉNÉCHAL, *Introduction à la chimie des complexes*, p. 3. Paris, Hermann, 1913.

(87) DE HEEN, *Mémoires*, p. 15, janvier 1913 (Académie royale des sciences, classe des sciences, t. IV, 2e série, 2e fascicule).

(88) Nous ferons plus loin un exposé détaillé et un examen critique de cette théorie. — Voir le livre consacré à l'Energétique.

(89) DUHEM, *La théorie physique, son objet, sa structure*, passim, Paris, Chevalier, 1906.

pour être valable, tendre à devenir une classification naturelle des phénomènes physiques.

Le cosmologue a-t-il à se préoccuper de pareille théorie ?

Assurément non, si elle reste fidèle à ses principes. Comme le dit M. Duhem, « une théorie qui ne prétend pas donner, des apparences physiques, une explication conforme à la réalité, pourra s'appeler vraie si elle représente d'une manière satisfaisante un ensemble de lois expérimentales ». De même « une théorie fausse n'est pas une tentative d'explication fondée sur des suppositions contraires à la réalité ; c'est un ensemble de propositions qui ne concordent pas avec les lois expérimentales » (90).

Il se peut cependant que la théorie subisse une déviation réelle qui la rende justiciable de la cosmologie. L'énergie dont elle étudie les diverses transformations, se prête à des interprétations diverses. Si, au lieu de s'en tenir aux données purement expérimentales, le physicien émet une opinion sur la nature même de l'énergie, la théorie prend du même coup, bien qu'incidemment, un aspect cosmologique.

En fait, cette déviation se retrouve chez deux énergétistes de grande valeur, Ostwald et Mach. Le premier, pour avoir conçu l'énergie comme une substance unique, partout et toujours identique au sein de ses transformations, aboutit au monisme énergétique. Le second, pour n'avoir accordé de réalité qu'aux données sensibles, souscrivit au phénoménisme.

Ce n'est évidemment que dans la mesure où ces systèmes philosophiques se réclament de la théorie physique, que le cosmologue doit s'y intéresser.

Une autre théorie, actuellement très en vogue, est le *néo-mécanisme* (91).

Pour les néo-mécanistes, la théorie physique doit être tirée de l'expérience de manière à rester le décalque de l'objet. Elle n'a point la prétention de nous faire connaître la nature intime des phénomènes ou de leur substrat, mais elle cherche à se représenter les données de l'expérience par du mouvement local ou un ensemble plus ou moins compliqué de mouvements. La réduction à l'unité par l'homogénéisation des propriétés ou des phénomènes, tel est son but. Dans ce travail de systématisation, elle se laisse constamment diriger par les principes mêmes de la mécanique.

Q'une pareille théorie puisse se développer sans jamais soulever aucun problème d'ordre cosmologique, on le conçoit facilement ; la représentation de tous les phénomènes sous la forme du

---

(90) DUHEM, *La théorie physique, son objet, sa structure*, p. 28. — *Les théories électriques de Maxwell (Revue des Questions scientifiques*, 20 janvier 1901).

(91) Voir le chapitre intitulé : *Le Néo-mécanisme.*

mouvement ne supprime pas nécessairement leur diversité objective. Mais on comprend aussi combien cette conception unitaire des phénomènes qui n'est qu'un moyen de systématisation, expose ses partisans à réduire au seul mouvement la réalité intégrale du phénomène observé, danger d'autant plus grand que la théorie professe une subordination complète à l'égard de l'expérience.

A notre avis, à raison même de ces relations intimes entre la théorie et les données expérimentales, le cosmologue ne peut s'en désintéresser complètement.

D'abord, il n'est pas sans avantages réels, même pour le savant, de connaître dans quelles limites la représentation des propriétés sous la formalité du mouvement peut être valable, quels aspects réels et non moins importants cette conception unitaire laisse dans l'ombre.

En second lieu, l'expérience l'a prouvé plus d'une fois déjà, à ne voir partout que du mouvement, plusieurs physiciens ont fini par confondre la méthode avec la réalité, un aspect particulier du phénomène avec le phénomène tout entier.

Une troisième conception de la théorie physique, très accréditée jusque vers la fin du siècle dernier, nous est donnée par l'école cartésienne.

Animée du même esprit que son héritière, le néo-mécanisme, cette théorie se montre cependant plus audacieuse. « Par explication mécanique, Descartes et les cartésiens français n'entendent pas seulement la construction d'une image concrète et conforme qui facilite à leur esprit la compréhension des choses, mais ils entendent la découverte de la réalité vraie, de la réalité dernière, du *substratum* métaphysique, et par-dessus tout la réduction réelle à un nombre moindre des phénomènes distincts qui se passent dans l'univers » (92).

La *théorie mécanique cartésienne,* qu'on désigne souvent sous le nom de *mécanisme pur,* est donc une théorie métaphysique et physique à la fois qui mérite une place toute spéciale dans l'étude cosmologique de la matière. Bien qu'elle ne compte plus à l'heure présente qu'un petit nombre de représentants, elle conserve une importance exceptionnelle, d'abord parce qu'elle est la seule théorie physique qui émette des prétentions métaphysiques ; en second lieu, parce que toute déviation du néo-mécanisme dans le sens philosophique tend à faire revivre en entier ou en partie ce mécanisme traditionnel.

Enfin, mentionnons encore la conception de la théorie physique

(92) BRUNHES, *La dégradation de l'énergie,* p. 298. Paris, Flammarion, 1908.

préconisée par H. Poincaré et son école que M. Rey appelle *école critique* (93).

Pour le mécanisme traditionnel, il n'y avait point de différence de nature entre les lois expérimentales et les généralisations les plus abstraites et les plus larges de la théorie physique. Les généralisations ou les principes résultent d'un travail progressif d'abstraction auquel sont soumises les lois empiriques. Entre celles-ci et celles-là, simple différence de degré ; et les unes et les autres peuvent être infirmées ou vérifiées par des expériences nouvelles.

Pour H. Poincaré, la différence est radicale.

Pour lui, en effet, la physique mathématique qui coordonne et systématise les lois, n'est possible qu'à une condition : c'est que la loi empirique soit érigée en principe, non par une généralisation plus grande, mais par un décret de l'esprit qui en fait une vraie définition mathématique, une formule abstraite, ni vérifiable, ni démontrable. La transformation de la loi en principe la soustrait donc aux prises de l'expérience, tandis que la loi elle-même reste toujours une loi révisable. Au-dessus de la physique expérimentale comprenant les faits, leurs relations générales, les hypothèses inventées pour la prévision de nouveaux faits, il y a donc les principes, d'aspect mathématique, créés *a priori* par l'intelligence pour donner à certaines relations un caractère définitif, immuable.

D'après ce savant, le principe ne peut être arbitraire ; il n'est ni vrai, ni faux, mais il doit être commode, c'est-à-dire adapté à son objet, choisi de manière que cet objet « soit le plus facile possible à apercevoir de tous et le plus en rapport avec les exigences universelles de l'esprit » (94). Les principes admis par H. Poincaré sont les principes de l'énergétique, savoir les principes de la conservation de l'énergie, de la dégradation de l'énergie, de la moindre action, et en plus, les principes d'inertie, d'action et de réaction, d'indépendance des mouvements.

Il est clair que pareille théorie peut rester complètement étrangère aux préoccupations du cosmologue.

Signalons enfin la théorie *électronique,* qui jouit actuellement d'une vogue exceptionnelle en physique. Nous en avons donné plus haut un exposé détaillé. Bien qu'elle contienne de nombreuses hypothèses non encore vérifiées, elle se réclame de certains faits relatifs à la constitution de l'atome qui peuvent avoir une portée cosmologique considérable. De ce chef, elle s'impose à l'attention du cosmologue.

---

(93) REY, *La théorie de la physique chez les physiciens contemporains.* Paris, Alcan, 1907.

(94) H. POINCARÉ, *Sur la valeur de la Science (Revue de métaphysique et de morale,* mai 1902, pp. 276-278).

38. Origine de la vraie méthode cosmologique. D'où vient qu'elle fut généralement abandonnée ? — La méthode que nous avons exposée plus haut (n° 33), n'est pas neuve, mais elle était tombée en désuétude depuis la classification introduite par Wolf dans les matières philosophiques.

Pour Aristote et saint Thomas, la cosmologie ne formait qu'un chapitre des sciences physiques ; elle en était le complément naturel. Aussi les questions relatives à ces deux branches leur semblaient tellement connexes, qu'elles se trouvent entremêlées et discutées dans les mêmes ouvrages. Il est même parfois difficile de saisir le passage d'un domaine à l'autre. Tel est le cas pour la Physique d'Aristote. Wolf a rompu le premier avec cette méthode traditionnelle. Après avoir établi une séparation radicale entre les sciences et la philosophie, il relégua la cosmologie dans le domaine de la métaphysique et lui attribua pour objet l'étude de l'être corporel.

Depuis lors, de nombreux cosmologues n'eurent plus que de l'indifférence pour les sciences naturelles. Ils se mirent à dépouiller le plus possible le système aristotélicien de son enveloppe et à briser ses attaches scientifiques pour n'en conserver que les idées générales sur l'essence du corps. Les notions de matière première et de forme substantielle dont Aristote avait fait les constitutifs de tout être corporel, ainsi que l'étendue et la quantité devinrent à peu près l'objet unique de la cosmologie, parce que l'on peut discuter à perte de vue la raison intime de ces notions, leur dépendance mutuelle, leur enchaînement logique, bref la valeur métaphysique du système sans jamais abaisser ses regards sur le monde des réalités contingentes. De là à l'apriorisme absolu et au dogmatisme, il n'y avait qu'un pas, et ce pas ne fut que trop souvent franchi au grand détriment du système.

Ce divorce désastreux entre ces deux branches sœurs, Aristote, semble-t-il, l'avait déjà stigmatisé dans son bel ouvrage sur *La génération et la corruption.* « Ceux-là, dit-il, aboutissent à des hypothèses qui sont rationnelles et cohérentes, qui se sont pour ainsi dire établis au sein de la nature et l'ont prise pour point de départ de leurs investigations ; les autres, tout entiers à leurs idées préconçues, daignant à peine abaisser leurs regards sur le monde extérieur, dogmatisent avec une fâcheuse facilité » (95).

Aussi aimons-nous à faire nôtre le jugement de M. C. Huit sur le caractère du génie aristotélicien : « Avec la même assurance qu'un moderne, l'auteur de la *Physique* enseigne que le propre du savant, c'est la recherche des causes, et si en cette matière il

---

(95) ARISTOTE, *De generatione et corruptione*. Lib. I, cap. 2, p. 435. (Edition Didot).

s'est parfois égaré, ces erreurs étaient, selon le mot très juste de Barthélemy Saint-Hilaire, en partie la rançon de ses hautes facultés philosophiques qui avaient hâte d'échapper à la complexité du détail pour atteindre à l'unité de la loi, et qui tentaient de résoudre en un petit nombre de formules métaphysiques la prodigieuse variété des phénomènes » (96).

Si simple que paraisse cette conclusion, tous ne veulent point s'y rallier. Nous devons reconnaître cependant que le nombre d'antagonistes diminue et sera bientôt négligable.

39. Exposé de certaines autres méthodes. — D'après les uns, une connaissance vulgaire des phénomènes de la nature suffit au philosophe pour résoudre le problème des causes constitutives. La question qui nous occupe n'est-elle pas du domaine de la métaphysique ? Pourquoi donc consulter les sciences ? Peuvent-elles jamais projeter leurs lumières jusque dans les sphères élevées de la spéculation philosophique ?

D'après d'autres, il existerait même entre la cosmologie et les données d'ordre scientifique un abîme si profond que tout point de contact est impossible. Que les sciences se développent librement avec une pleine et entière indépendance, que des hypothèses scientifiques nouvelles se greffent sur des hypothèses vieillies, que les théories les plus hardies sur la nature des propriétés de la matière se fassent jour, le philosophe n'a rien à craindre pour le sort des idées qui lui sont chères. Savants et cosmologues explorent deux domaines qui n'ont pas de point de rencontre. Il ne peut donc exister entre leurs systèmes ni harmonie ni opposition.

40. Pourquoi nous ne pouvons nous rallier à cette méthode. — Aux philosophes de cette seconde catégorie, nous demanderions volontiers quelle portée objective ils prétendent donner à leur théorie cosmologique.

La considèrent-ils comme une simple élucubration fantaisiste, créée de toutes pièces *a priori* par une intelligence volontairement indifférente à toutes les choses du dehors, mais désireuse de charmer ses loisirs ? N'y voient-ils qu'une conception métaphysique bien enchaînée et simplement possible ?

Dans ce cas, nous n'avons aucune critique à leur faire. Il leur est aussi permis de défendre la cohérence et la possibilité de leur théorie, qu'il l'est aux mathématiciens de discuter la question de savoir s'il est au pouvoir de Dieu de créer un espace à 10 ou à 20 dimensions.

Soutiennent-ils au contraire que leur système n'est point une

---

(96) Ch. Huit, *La philosophie de la nature chez les anciens*, p. 462. Paris, Fontemoing, 1901.

simple fiction, mais l'expression fidèle de la réalité, que les principes constitutifs de la matière par eux imaginés se trouvent en fait réalisés dans toutes les essences corporelles ? Alors, nous leur demanderons si leur intelligence est faite autrement que la nôtre, si la connaissance du fond intime des êtres leur est donnée par une intuition directe et immédiate ou par la patiente étude des phénomènes.

D'évidence, cette seconde méthode est la seule possible.

Mais elle-même serait-elle suffisante, si toutes les propriétés naturelles des corps n'étaient pas les reflets fidèles de la nature substantielle ? Or, puisque ces propriétés sont pour nous les seuls indices révélateurs des essences, comment soutenir encore qu'entre les sciences qui les analysent et la cosmologie qui en fait son point de départ et la base de ses inductions, il n'y a pas de terrain commun, pas de place pour une entente harmonieuse ou une opposition réelle ?

Loin de nous la pensée de révoquer en doute la valeur de tout système cosmologique né avant l'éclosion de la science. Nous l'admettons aisément, une connaissance vulgaire des phénomènes de la nature, l'ordre qui régit l'univers matériel, — ordre dont la constatation ne saurait être l'apanage exclusif du savant, — la finalité qui se traduit si visiblement dans la récurrence invariable des mêmes êtres, enfin l'étude de l'homme d'après les données de la conscience, ont suffi sans doute à manifester à certains génies les causes constitutives du monde corporel.

Mais serait-il sensé de nous condamner à nous servir indéfiniment des instruments de travail rudimentaires de nos devanciers, sous prétexte qu'ils n'ont pas eu l'occasion d'en avoir de mieux appropriés à leurs fins ?

Or, le champ de la cosmologie s'est éclairé de lumières inconnues avant ces derniers siècles ; les phénomènes naturels ont été l'objet de longues et minutieuses études qui en ont révélé les secrets les plus intimes et dissipé une multitude d'erreurs qui avaient infesté l'ancienne physique ; des théories générales sont venues les systématiser et en exprimer l'enchaînement. En un mot, la nature matérielle tout entière se montre sous un jour nouveau. Pourquoi donc le philosophe n'interrogerait-il pas cette nature mieux connue ? Pourquoi se refuserait-il à bénéficier de ces découvertes qui peuvent donner à son système une base plus solide et plus large ?

Cette méthode, il faut bien le reconnaître, présente d'incontestables avantages.

Il y a plus ; elle s'impose avec une rigoureuse nécessité dans l'état actuel des sciences physiques.

Sans doute beaucoup de physiciens actuels « se résolvent à

ne pas voir immédiatement le fond des choses ; ils ne cherchent plus à enlever brusquement ses derniers voiles à la nature, à deviner ses suprêmes secrets » (97). Sans doute, la physique, comme telle, est en général phénoméniste. Mais le savant reste encore bien souvent doublé d'un philosophe. Après avoir établi les faits et les lois d'après les principes de l'induction scientifique, après avoir fourni ces résultats positifs définitivement acquis à la science et qui seront transmis dans leur intégrité aux générations futures, lui aussi est tenté de céder au secret désir de toute intelligence humaine de connaître le dernier pourquoi des phénomènes analysés. Comme le dit Poincaré, « un jour viendra peut-être où les physiciens se désintéresseront de ces questions inaccessibles aux méthodes positives et les abandonneront aux métaphysiciens. Ce jour n'est pas venu ; l'homme ne se résigne pas si aisément à ignorer éternellement le fond des choses » (98). Ce désir a enfanté l'hypothèse métaphysique. De là résulte qu'à l'heure présente il n'existe plus, dans l'étude de la nature, une seule branche qui n'ait été couronnée d'une hypothèse philosophique. Tels sont, par exemple, le monisme énergétique d'Ostwald et le phénoménisme de Mach. Telle est la conception unitaire de la matière basée sur la théorie électronique.

Il arrive ainsi facilement que les phénomènes revêtent une enveloppe philosophique dont il faut d'abord les dégager si l'on veut se ménager une orientation certaine dans la recherche des causes constitutives.

Il s'ensuit aussi que déjà, à son point de départ, le cosmologue rencontre des adversaires qui prétendent lui contester la valeur de son induction, sous prétexte que les propriétés corporelles qui en sont le point d'appui, n'ont ni la nature ni la signification qu'il se plaît à leur attribuer. Tels sont les mécanistes pour lesquels les phénomènes se réduisent à de simples mouvements animant une matière partout homogène.

De plus, sur le même terrain où la philosophie traditionnelle avait régné en maîtresse, le mécanisme cartésien s'est développé, jusqu'à la fin du siècle dernier, en poussant de puissantes racines dans toutes les sciences. Il s'est posé audacieusement devant son ancienne rivale en se prévalant d'avoir son arsenal dans les découvertes scientifiques. Et à l'heure présente, le néo-mécanisme n'invoque-t-il pas, lui aussi, bon nombre de faits scientifiques en faveur de son hypothèse favorite ?

A moins de ne vouloir s'adresser qu'à des convaincus et

---

(97) Lucien Poincaré, *La physique moderne, son évolution,* p. 18. Paris, Flammarion, 1909.

(98) H. Poincaré, *La science et l'hypothèse,* p. 258. Paris, Flammarion, 1909.

renoncer ainsi à la recherche désintéressée de la vérité, le cosmologue n'a-t-il pas un impérieux devoir de rencontrer ses antagonistes sur le terrain même où ils prétendent trouver les assises inébranlables de leur édifice cosmologique ?

41. Pourquoi joindre à l'exposé des faits la critique du mécanisme ? — Ainsi qu'il a été dit plus haut, notre méthode consistera dans l'exposé impartial des faits qui peuvent avoir une portée cosmologique.

Mais il nous paraît très utile de joindre à cette étude l'examen critique du mécanisme cartésien.

Nous voyons dans ce procédé plusieurs avantages.

Le but primordial du mécanisme est d'homogénéiser toutes les propriétés de la matière, de les réduire aux modalités du mouvement local, afin de légitimer de la sorte l'hypothèse de l'homogénéité du *substrat* matériel.

La conception purement mécanique des phénomènes naturels revêt, on le comprend, une importance capitale : elle est la base de tout le système cosmologique. Pour ne point souscrire d'emblée aux conclusions du mécanisme, pour laisser le champ ouvert aux recherches philosophiques, il est donc indispensable de rétablir le sens véritable des propriétés de la matière, de les représenter, non plus sous un aspect unique et incomplet, comme le fait la théorie mécanique, mais avec la totalité de leurs caractères.

Or, il est clair qu'un excellent moyen d'atteindre ce but est de joindre, à l'exposé de chaque fait, la critique des vues mécanistes qui l'ont dénaturé.

En second lieu, le mécanisme cartésien et le néo-mécanisme qui est l'héritier naturel de ses tendances et de sa méthode sont des systèmes d'allure scientifique. Ils ont la prétention de nous fournir une vue synthétique, unitaire de l'univers, qui soit justifiée au préalable par l'interprétation mécanique de *chaque phénomène* particulier.

Force nous est donc de suivre ce système dans le détail des données expérimentales qu'il a mission d'expliquer. L'exposé des faits nous en donne l'occasion, et nous permet en même temps d'éviter des redites inutiles ou fastidieuses.

En troisième lieu, la discussion approfondie du mécanisme nous paraît une préparation très utile à l'intelligence des grandes thèses de la théorie scolastique. En somme, nous pouvons exprimer l'objet de ce débat dans les trois propositions suivantes :

1° Y a-t-il des qualités dans le monde minéral, ou bien faut-il n'y voir que des modalités d'une même réalité homogène, savoir, le mouvement local ?

2° L'activité a-t-elle sa source et son origine dans le fond même de l'être, ou ne lui est-elle qu'une ajoute extrinsèque ?

3° Les activités des êtres sont-elles réglées par un principe interne de finalité et d'orientation ; suffit-il de leur appliquer les lois rigides de la mécanique ?

Or, ces trois doctrines qui résument le thomisme et le différencient essentiellement du mécanisme, on les voit naître, se développer, révéler leur signification réelle et leur grande importance, à mesure que se continuent la description des faits et l'examen de l'interprétation que nous en donne le mécanisme (99).

42. Les systèmes. — L'étude de la constitution intime de la matière a donné naissance à plusieurs systèmes :

1° Le mécanisme pur ou traditionnel.
2° Le néo-mécanisme.
3° Le mécanisme dynamique.
4° Le dynamisme.
5° L'énergétique.
6° L'hylémorphisme ou la théorie scolastique.

Dans ce volume, nous ferons successivement l'exposé critique des cinq premiers systèmes.

Un second volume sera consacré à l'étude de la théorie scolastique.

---

(99) D'autres auteurs adoptent une méthode un peu différente de la nôtre.

Les uns suivent, au moins dans ses grandes lignes, l'ordre suivant : l'étendue, le lieu et l'espace qui s'y rattachent — le mouvement local et le temps — la quantité dont les espèces sont l'étendue, l'espace, le mouvement et le temps — l'activité des corps et ses lois — la distinction numérique et spécifique des corps — la nature des êtres minéraux — les systèmes. — Cfr. WILLEMS, *Institutiones philosophicae*, vol. II. Treviris, off. ad S. Paulum, 1906. — LEHMEN, *Lerhbuch der Philosophie*, II, B., *Kosmologie und Psychologie*, Freiburg im Breisgau, Herder, 1911. — DE LA VAISSIÈRE, *Cursus philosophiæ naturalis*, t. I. Paris, Beauchesne, 1912. — DE BACKER, *Cosmologia*, Paris, Briguet, 1899. — DONAT, *Cosmologia*, Oeniponte, Pustet, 1913. — LEMAIRE, *Cosmologia sive philosophia mineralium*, Mechliniæ, Dierickx-Beke, 1913, etc.

D'autres commencent par l'examen critique du mécanisme et du dynamisme, exposent ensuite le système scolastique, le justifient par les faits et le vengent enfin des critiques dont il est l'objet. — Cfr. MIELLE, *De substantiæ corporalis vi et ratione*, Lingonis, Rallet, 1894. — LAHOUSSE, *Cosmologia*, Lovanii, Peeters, 1896. — SCHNEID, *Naturphilosophie*, Paderborn, Schöningh, 1890. — GREDT, *Logica et philosophia naturalis*, Friburgi Brisgoviæ, Herder, 1909. — BEYSSENS, *Naturphilosophie of Cosmologie*, Amsterdam, Van Langenhuysen, 1910 ; etc.

Ces méthodes et d'autres encore peuvent toutes se justifier. Les avantages relatifs qu'elles présentent dépendent des points de vue où se placent les auteurs.

LIVRE PREMIER

LE MECANISME TRADITIONNEL

CHAPITRE PREMIER

Exposé et évolution historique de ce système

Le mécanisme remonte à la plus haute antiquité. On en trouve déjà des représentants dans l'école Ionienne. Le premier dont l'histoire nous ait conservé le souvenir est Thalès.

43. Thalès (640-548 av. J.-C.) fait dériver le monde d'une seule substance primitive, l'*eau*. Comment s'est faite cette étonnante évolution ? Ce philosophe ne s'en préoccupe point et se contente d'affirmer que tous les êtres, y compris les vivants, ont jailli de cette source unique.

44. Anaximandre, qui fut contemporain de Thalès (610-547 av. J.-C.), est aussi partisan d'une évolution cosmique. Mais, d'après lui, l'ensemble des espèces proviendrait d'une matière homogène disséminée à l'origine dans l'espace infini.

45. Anaximène (588-524 av. J.-C.). — Pour lui comme pour son devancier, le problème fondamental est le même. Seulement, il croit trouver dans l'*air* l'élément primordial du cosmos. C'est de cette matière subtile que résulteraient tous les êtres, par voie d'amincissement et de condensation.

46. Héraclite (534-475 av. J.-C.) réduit le monde à un flux perpétuel dont l'élément mobile est le *feu* (100). Il est phénoménaliste et n'attribue d'autre être à cet élément que les évolutions de son devenir.

On le voit, la grande préoccupation de ces premiers mécanistes est de ramener la nature à un minimum de causes.

Tous cherchent à expliquer la formation des êtres à l'aide d'un principe unique, d'une seule substance originelle.

---

(100) Pour les diverses interprétations de la doctrine d'Héraclite, cfr. RIVAUD, *Le problème du devenir et la notion de la matière,* pp. 108-120. Paris, Alcan, 1906.

C'est l'idée-mère de l'évolution dont s'est emparé le mécanisme moderne.

Par contre, si l'on excepte Héraclite, dont le système d'ailleurs est empreint déjà d'une forte teinte de dynamisme, aucun d'eux ne s'occupe de la question du processus évolutif des choses. « Thalès, Anaximandre, Anaximène, cherchent, dit M. Rivaud, un principe assez vaste pour être riche en puissance de toutes les réalités, assez fécond pour les avoir toutes engendrées. Tous trois procèdent par des affirmations tranquilles que n'accompagne aucune preuve » (101).

Mais cette lacune sera bientôt comblée.

47. Empédocle (495-435 av. J.-C.) fait un large emprunt aux systèmes de ses devanciers.

Avant lui, l'eau, la terre, l'air et le feu avaient été successivement considérés comme fonds originel de l'univers, mais définitivement abandonnés l'un après l'autre, après une période plus ou moins courte. Avec Empédocle, ils reprennent leur place d'honneur et deviennent ensemble les principes primordiaux du cosmos.

Ainsi vit le jour cette célèbre théorie des quatre éléments qui ne devait être bannie de la science que par les immortels travaux de Lavoisier (102).

Tourmenté du désir de pénétrer les secrets de la nature, Empédocle nous décrit par quel mécanisme se fait la naissance et la disparition des êtres.

En réalité, dit-il, rien ne meurt, rien ne naît. Ce qu'on appelle naissance d'une substance est une simple union de particules des quatre éléments qui conservent dans cette association leur être individuel. La disparition d'une substance est la dislocation de l'assemblage, la séparation de ces mêmes particules. Ces phénomènes sont réglés par deux forces qu'il appelle, dans son langage poétique, du nom d'*amour* et de *haine*. Peut-être n'y a-t-il dans ces termes qu'une personnification des forces attractive et répulsive.

En tout cas, ici se dessine déjà une conception chère aux mécanistes modernes : la réduction de tout composé, même vivant, à une simple juxtaposition d'éléments inchangés.

48. Anaxagore (500 av. J.-C.). — D'après ce philosophe,

---

(101) RIVAUD, *Le problème du devenir et la notion de la matière*, p. 86. Paris, Alcan, 1906.

(102) Suivant M. Rivaud, « le nom d'Empédocle survit comme celui du créateur de la doctrine des quatre éléments : réputation usurpée. Les pythagoriciens l'avaient devancé. Même nous avons trouvé, en des temps autrement reculés, les premières formes de cette classification qui constate et enregistre le rôle privilégié que la terre, l'air, l'eau et le feu jouent parmi les apparences. Empédocle a le mérite seulement de fixer le vocabulaire ». Cfr. *op. cit.*, p. 183.

chaque corps contient des particules qui appartiennent à toutes les autres espèces, de sorte qu'à lui seul il est un monde en miniature : « Omnia in omnibus ». Mais dans le mélange primitif, les portioncules matérielles sont si petites, qu'aucune ne révèle ses propriétés distinctives. La seule distinction que l'on puisse placer entre les êtres de la nature provient donc des quantités diverses de ce mélange. De la possibilité de modifier ces quantités proportionnelles résulte la possibilité de la transformation des corps.

Fidèle à la doctrine d'Empédocle, Anaxagore recourt au mouvement pour expliquer l'union et la dissociation des particules matérielles ; mais il va plus loin et attribue la cause efficiente de toutes les activités naturelles à un principe supérieur, à un être intelligent. Ce principe est-il immanent ou extérieur au monde ? Anaxagore ne nous donne point de réponse.

49. Démocrite (460- av. J.-C.). — Avec ce philosophe, le mécanisme fait un pas immense.

Empédocle et Anaxagore lui-même avaient admis une distinction essentielle entre les principes originels de l'univers. Démocrite, fidèle au système de Leucippe, la supprime et proclame l'homogénéité foncière de la matière.

Les êtres corporels sont constitués de corpuscules infiniment petits, solides et pleins, physiquement indivisibles et éternels. Ces corpuscules diffèrent entre eux de forme et de volume, mais ils partagent une commune nature.

Identité de la matière cosmique et constitution atomique des corps, tels sont les deux dogmes nouveaux dont s'enrichit le mécanisme et que nous retrouverons plus tard dans la dernière phase de son évolution historique.

Quant à la naissance et à la fin de toutes choses, elles s'expliquent suffisamment par le rapprochement ou la dissociation des atomes entraînés dans tous les sens par un double mouvement cahotique d'impulsion et de réaction.

Ce qui décide des propriétés des corps, de la vie et de la mort des êtres animés, c'est uniquement le groupement, la figure et la disposition des atomes, tandis que de leur contact dérivent toute action et toute passion. Le mouvement sous ses formes variées, tel est le principe et le constitutif de tous les phénomènes naturels.

En fondant la diversité des corps sur la diversité de leurs mouvements et de leurs relations interatomiques, Démocrite érigeait à la hauteur d'une vérité scientifique une interprétation des phénomènes que la chimie mécanique actuelle a reprise pour son compte en lui donnant les plus larges applications. En fait, nos formules de structure n'en sont qu'une expression perfectionnée.

En résumé, dans ce système, pas de cause efficiente première,

pas de cause finale ; le mouvement est sans but, comme il est sans origine et sans terme : tout a son explication dans les forces ou mieux dans le mouvement éternel de la matière et dans les lois du déterminisme le plus absolu (103).

« Tout a été dit sur ce système, écrit M. Meyerson, et le moins assurément qu'on en puisse affirmer, c'est qu'il est absolument complet ; tel il est sorti des mains des Grecs du VI^e^ siècle avant J.-C., tel nous le verrons reparaître, presque sans changements ou avec des retouches insignifiantes, chez les philosophes et les savants jusqu'à la fin du XIX^e^ siècle, c'est-à-dire jusqu'à l'instauration des théories électriques de la matière » (104).

50. Platon (427-347 av. J.-C.). — La théorie platonicienne ne marque pas un progrès dans l'évolution du mécanisme.

Pour Platon, le mouvement est la cause immédiate et unique des transformations de la matière. Il est produit par l'âme du monde et, partant, reste toujours extrinsèque aux corps élémentaires.

Toutes les propriétés naturelles en sont des modes divers.

Les corps sensibles résultent de la combinaison des matières élémentaires et se diversifient par la disposition relative de leurs éléments constitutifs.

Jusque-là, rien qui ne soit en concordance parfaite avec la thèse mécaniste.

Mais Platon y ajoute deux idées qui la modifient profondément.

A la théorie de l'homogénéité de la matière originelle affirmée par Démocrite, il substitue l'hypothèse des quatre corps élémentaires : l'eau, la terre, l'air et le feu.

C'est, on le voit, un mouvement de recul imprimé à la théorie atomistique.

Ensuite, il supprime en fait la réalité des corps simples en les réduisant à des figures géométriques ; car, pour Platon, les matières élémentaires ne sont pas des substances figurées, mais de simples formes découpées dans l'espace et vides de tout substrat réel (105).

Ajoutons enfin qu'à sa première explication mécanique du monde, il a adapté une interprétation finaliste des plus franches. Platon accorde aux causes une si haute importance que, s'il réduit les éléments à des figures planes et régulières, c'est uniquement

---

(103) Ch. Huit, *La philosophie de la nature chez les anciens*, p. 309. Paris, Fontemoing, 1901.

(104) Meyerson, *Identité et réalité*, p. 88. Paris, Alcan, 1912.

(105) Il est difficile d'établir quelle est, en cette matière, la vraie pensée de Platon. Cfr. Rivaud, *Le problème du devenir et la notion de la matière*, pp. 308 et suiv.

pour nous montrer que le monde, même dans les êtres les plus infimes, est un chef-d'œuvre d'ordre et de beauté.

51. Epicure (342-270 av. J.-C.) est un admirateur enthousiaste de Démocrite.

La constitution atomique de la matière, son homogénéité parfaite, l'identification de tous les phénomènes avec le mouvement local, tels sont aussi les principes fondamentaux de sa physique.

Entre les deux systèmes cosmologiques, une seule différence importante à relever au sujet de la cause du mouvement : dans la théorie Epicurienne, l'atome est automobile. Bien que soumis à l'action de la pesanteur qui l'incline à tomber en ligne droite, l'atome possède la faculté de changer la direction de son mouvement, sans qu'aucune cause extrinsèque ou interne ne vienne déterminer cette déviation. Pourquoi cette hypothèse ? Elle devait, dans l'idée d'Epicure, nous fournir la raison de la rencontre et de la combinaison des masses corpusculaires ; d'autre part, elle suffisait à sauvegarder dans le monde matériel cette espèce de liberté qu'il défendit plus tard dans le monde moral.

52. Epoque de transition. — Après Epicure, et pendant de longs siècles, l'atomisme disparaît presque complètement du monde philosophique.

Jusque vers l'époque de la Renaissance, les alchimistes dont les essais sur la transmutation mutuelle des métaux s'inspiraient du principe atomistique qui fait dériver tous les corps d'une même matière originelle, quelques philosophes de l'Ecole de Chartres, entre autres Guillaume de Conches (1080-1120) (106) et l'école arabe des Motecallemin (107), semblent avoir été les seuls représentants de cette antique doctrine.

Plus tard, Sennert en Allemagne et Bacon de Vérulam empruntent à Démocrite les idées maîtresses de leur cosmogonie ; Magnen en Italie et Gassendi en France font revivre Epicure.

Ces tentatives de restauration, encore isolées, rencontrèrent bientôt un courant de sympathie dans le monde savant, épris déjà du culte des sciences naturelles mais plein de dédain pour la philosophie scolastique en décadence. D'ailleurs une hypothèse aussi simpliste, si libre de toute donnée métaphysique, et en apparence si bien en harmonie avec les phénomènes naturels, n'est-elle pas naturellement destinée à captiver des intelligences livrées à l'étude des faits ?

Les esprits étaient donc préparés au système nouveau. Il ne

---

(106) De Wulf, *Histoire de la philosophie médiévale*, Louvain, 1925.
(107) Mabilleau, *Histoire de la philosophie atomique*, p. 331. Paris, Alcan, 1895.

fallait plus qu'un défenseur suffisamment autorisé pour lui rendre son ancien crédit.

Tel fut Descartes.

53. Descartes (1596-1650). — Mathématicien avant tout, le philosophe français veut ériger sa cosmologie d'après la méthode géométrique.

« Toute ma physique, dit-il, n'est que géométrie... Je ne reçois point de principes en physique qui ne soient aussi reçus en mathématiques, afin de pouvoir prouver par démonstration tout ce que j'en déduirai » (108).

Comme cette science débute par les propositions les plus simples, pour arriver par voie de raisonnement et de déduction aux vérités les plus complexes, Descartes recherche quelle est, parmi les attributs distinctifs des corps, la propriété primordiale, la plus évidente et la plus universelle. Il s'arrête à l'étendue. Il nous est permis, ajoute-t-il, de supprimer par la pensée, la dureté d'un corps, sa couleur, sa pesanteur, bref toutes ses qualités, sans qu'il cesse d'être pour nous un corps réel pourvu toutefois que nous lui conservions son extension en longueur, largeur et épaisseur (109). L'étendue, voilà donc le premier constitutif du corps, en un mot, son essence.

Ce principe établi, Descartes refuse à la matière les propriétés qui ne peuvent logiquement se déduire de l'analyse de l'étendue.

1° D'abord, c'est à l'activité qu'il s'en prend. Les formes substantielles, les causes finales, les qualités actives sont autant de mythes qu'il faut mettre au ban de la science, car aucun de ces principes internes d'action n'est contenu dans la notion d'étendue.

2° En second lieu, bien que différenciée dans les diverses espèces de la nature sous le rapport de la grandeur, l'extension reste toujours homogène. Ne faut-il pas que la matière dont elle est l'essence le soit au même titre ?

3° Du principe énoncé résulte aussi l'impossibilité métaphysique du vide. Quel qu'il soit, dit Descartes, le vide a nécessairement une certaine étendue. Or cette propriété est le constitutif du corps. Admettre le vide dans le monde reviendrait à identifier cette notion avec la présence de la matière, — ce qui implique contradiction.

4° L'hypothèse des atomes se montre aussi inconciliable avec le principe fondamental de la cosmologie cartésienne. L'étendue mathématique n'est-elle pas divisible à l'infini ? Dès lors, comment les forces de la nature pourraient-elles nous donner des particules insécables ?

---

(108) CARTESIUS, *Principiorum philosophiae* P. II, n. 64, p. 49.
(109) *Op. cit.* P. II, n. 3, 4, 5.

Cependant, tout en rejetant les atomes dans le sens absolu du mot, le philosophe français veut bien admettre que les corps sont constitués de portioncules de matière très ténues dont la forme et les dimensions varient d'après la perfection relative des êtres. Telles particules poussiéreuses ont formé le soleil et les étoiles fixes ; d'autres sphériques ont donné naissance à l'éther, d'autres enfin plus grossières composent la terre et les autres planètes.

5° Un point capital restait à élucider : si la matière est homogène et dépourvue de tout principe interne d'activité, elle ne cesse cependant de se modifier. Quelle est donc la cause de ces multiples phénomènes qui se déroulent sous nos yeux ? L'étendue ? Mais la douer d'énergie intrinsèque serait détruire son essentielle passivité. Cette cause est donc extrinsèque. Tous les phénomènes, dit Descartes, ne sont que des formes diverses du mouvement local communiqué par Dieu aux masses matérielles. A l'origine, le Créateur a doté l'univers d'une certaine quantité de mouvement transformable et transmissible, mais ce mouvement se conserve intrégralement malgré la variation continue de ses modalités (110). « Le monde, ajoute-t-il, est une machine en laquelle il n'y a rien du tout à considérer que les figures et les mouvements de ses particules. »

Masse homogène et mouvement local, tels sont donc les deux principes constitutifs du cosmos.

Enfin, pour accentuer davantage l'originalité de son système, Descartes indique lui-même par quelle divergence de vues il s'écarte des idées de Gassendi.

a) Gassendi est partisan de la constitution atomique de la matière. Je rejette cette hypothèse (111).

b) Il admet l'existence du vide. J'ai démontré qu'il était impossible.

c) D'après lui, la pesanteur serait une propriété inhérente aux corps. Je n'y vois que du mouvement relatif, étranger à l'essence corporelle, et communiqué originellement par Dieu à la matière.

La cosmologie cartésienne repose donc tout entière sur le concept mathématique de l'étendue. Au lieu de s'appuyer sur les phénomènes pour s'élever à la connaissance de la nature substantielle, c'est de l'essence même du corps, identifiée avec l'étendue,

---

(110) *Op. cit.* P. II, n. 36.

(111) Bien qu'on donne souvent encore au mécanisme de Descartes et de son école, le nom d'*atomisme mécanique*, ce serait une erreur de croire que la théorie atomique de la matière soit une doctrine essentielle du mécanisme cartésien. En fait, la théorie mécanique n'a guère revêtu la forme atomistique qu'au cours du XIX^e^ siècle, lorsque la théorie atomique fut adoptée par la généralité des chimistes. Descartes lui-même n'en fut jamais partisan.

qu'elle prétend déduire toutes les propriétés corporelles. En substituant l'intuition rationnelle à l'investigation expérimentale, elle a construit, en une synthèse hardie, la nature qu'elle devait analyser. Au reste, Descartes en fait lui-même l'aveu : « Peu m'importe, dit-il, de savoir si les causes que je décris sont les causes réelles des phénomènes cosmiques, il me suffit qu'elles puissent produire des effets semblables à ceux que nous constatons » (112).

L'influence du philosophe français sur les plus grands esprits de son siècle fut immense. Aussi voyons-nous, après lui, les plus puissants physiciens regarder la théorie, non plus comme un moyen plus ou moins commode de classer les phénomènes et d'en exprimer les lois, mais comme une explication réelle des faits (113).

54. Dernière évolution du mécanisme. — Jusqu'au commencement du siècle dernier, le mécanisme cartésien manquait encore de base scientifique. Bien que mis en œuvre dans la construction des hypothèses physiques, il restait entaché d'un vice originel : il avait été édifié *a priori*, érigé par conséquent d'après une méthode incompatible avec les procédés ordinaires des sciences.

Avec le XIX^e^ siècle il entre dans une phase nouvelle, en subissant toutefois certaines modifications exigées par les idées de l'époque. Se refusant à n'y voir qu'une sorte de postulat métaphysique applicable aux sciences naturelles, les savants le proposent au nom des sciences et croient trouver dans les découvertes scientifiques les preuves péremptoires de sa fécondité et de sa validité.

L'un des faits qui ont le plus contribué au succès et au crédit du mécanisme pur fut l'application, faite par Dalton, de l'hypothèse atomique au domaine de la chimie.

Avant de nous engager dans l'exposé de cette nouvelle phase du système, remarquons d'abord que l'atomisme est un de ces mots à ententes multiples. Plusieurs philosophes auraient évité les justes récriminations des hommes de science s'ils avaient eu soin, avant de le critiquer, d'en préciser le sens.

55. Deux sortes d'atomisme. — Il importe en effet de distinguer soigneusement deux sortes d'atomisme: l'un, d'ordre purement scientifique, *appelé atomisme chimique ;* l'autre, d'ordre métaphysique, appelé *atomisme philosophique,* ou simplement *mécanisme.*

Le premier semble en harmonie parfaite avec les faits et ne relève d'aucun système cosmologique. Il en est tout autrement du second.

---

(112) *Principiorum philosophiae* P. III, passim.

(113) DUHEM, *Physique et Métaphysique (Revue des Questions scientifiques,* p. 79, juillet 1893).

56. Atomisme chimique. — Résumons les propositions fondamentales de cette théorie :

Deux grandes catégories de substances constituent l'univers matériel : les corps simples et les corps composés ; ceux-ci résultent de l'association des premiers suivant des lois invariables de poids et de volumes.

Corps simple. — La matière est évidemment divisible. A ne considérer que son étendue, elle l'est même à l'infini. En fait, cette divisibilité ne s'étend pas au delà de certaines limites.

Voici un morceau de sodium ; par la lime, le martelage ou le couteau, nous pouvons le réduire en particules déjà bien ténues qui toutes conserveront les propriétés distinctives de ce métal. Ces procédés mécaniques de division sont, de tous, les moins puissants.

Il en est d'autres qui nous permettent de pousser beaucoup plus loin la désagrégation de ce corps. Chauffez en effet les petits fragments obtenus, vous les verrez d'abord se fondre, puis disparaître à l'état gazeux où les portioncules sont si petites que l'œil, aidé même d'instruments d'optique, est impuissant à les discerner.

Etes-vous arrivé au terme ultime de la division ? Nullement. Il reste encore un agent plus énergique, la force chimique. Sur ce sodium gazeux faites réagir du chlore. Aussitôt, sous l'influence de leurs puissantes affinités, chacune des particules infinitésimales de ces deux corps simples va se diviser en deux parties égales qui deviendront les facteurs immédiats de la combinaison, comme l'indique la formule (NaCl). Là s'arrête forcément la division ; les forces chimiques de la nature ne peuvent aller au delà.

Les chimistes ont donné le nom d'*atome* à ce terme ultime du fractionnement chimique, terme réellement indivisible par nos énergies chimiques actuelles, doué cependant des propriétés du corps sensible dont il est le plus petit représentant.

La chimie semble être parvenue à déterminer le poids absolu de ces masses infinitésimales, au moins d'une manière approximative. En pratique, on ne fait usage que du poids relatif ; c'est-à-dire, que si l'on désigne par l'unité le poids de l'atome d'hydrogène, on peut affirmer avec certitude que le poids atomique de l'oxygène est 16 fois plus grand, celui du soufre 32, du calcium 40 et ainsi des autres.

Nos quatre-vingt-dix corps ont donc un poids atomique spécifique.

Constitution chimique du corps simple. — En règle générale, les atomes n'existent pas à l'état d'individualités isolées. Ils ont une tendance à former de petits groupes très compacts de deux, de quatre ou même parfois d'un plus grand nombre d'individus ; et dans ce premier groupement, ils se trouvent unis par des

liens si étroits que les agents physiques ordinaires arrivent à peine à les dissocier. Ces petits groupes irréductibles constituent la *molécule chimique* du corps simple. Dans nos éléments gazeux, la molécule est le plus souvent biatomique. Tel est le cas pour le chlore, le brome, l'iode, l'oxygène, l'azote, etc. Celle de l'arsenic et de l'antimoine est tétraatomique. Exceptionnellement, les atomes du zinc, du cadmium et du mercure existent comme tels à l'état de liberté.

A leur tour, les molécules chimiques s'unissent en des intégrations plus complexes, appelées *molécules physiques.*

De l'union de celles-ci résulte finalement le corps sensible.

Corps composé. — Quand il s'agit du composé, il ne peut être question de savoir quel en est l'atome, puisque par définition même, tout composé résulte de la combinaison de plusieurs corps simples et doit renfermer partant, dans ses parties constitutives les plus infimes, plusieurs atomes d'*espèce* différente. La plus petite individualité représentative de ce genre de corps sera donc la molécule chimique. Ainsi, si l'on soumettait à l'action des forces désagrégeantes un morceau de sel de cuisine, le dernier degré possible d'atténuation nous donnerait une molécule constituée de deux atomes : l'un de sodium et l'autre de chlore (NaCl). C'est, pour ce composé, la plus petite quantité qui puisse jouir d'une existence isolée.

De même que chez les corps simples, les molécules chimiques, cédant à leurs forces attractives mutuelles, s'associent pour former des molécules physiques plus complexes d'où résulte le corps naturel.

Telle est, dans ses grandes lignes, l'hypothèse de la constitution chimique de la matière.

Conformément à ces idées, le chimiste décrit par le détail les propriétés chimiques et physiques des générateurs, le résultat de la combinaison et les circonstances qui l'accompagnent, les lois qui président aux profondes métamorphoses de la matière. Il donne le signalement de chaque composé en une *formule moléculaire* qui indique les corps simples et le nombre respectif d'atomes contenus dans leur molécule chimique. Telle, par exemple, la formule du gaz carbonique CO_2.

Enfin, des *formules de structure* mettent en relief le jeu des activités atomiques préludant à la formation du composé nouveau.

C'est le sens de la formule de l'acide acétique $\begin{matrix} & & O \\ & C & \\ CH_3 & | & OH. \end{matrix}$

Ainsi conçue, la théorie atomique appartient exclusivement au domaine des sciences, il n'est même aucun système de philo-

sophie qui ne puisse s'en accommoder. Dégagée, en effet, de toute opinion, soit sur la nature intime des corps élémentaires et de leurs propriétés, soit sur l'essence substantielle de la molécule du composé dont elle se contente de décrire les facteurs immédiats, elle laisse le champ libre aux conceptions philosophiques qui s'étendent à l'au-delà des données expérimentales.

57. L'atomisme philosophique ou le mécanisme. — L'atomisme chimique franchit bientôt les horizons trop étroits que lui avait tracés sa méthode d'induction scientifique.

Il avait emprunté à la philosophie grecque, spécialement à Démocrite, son principe fondamental, à savoir l'hypothèse de la constitution atomique de la matière. Mais pourquoi ne pas en faire revivre le système tout entier ? Les conceptions mécanistes dont l'avait enrichi cet antique précurseur de la chimie moderne, d'ailleurs si bien rajeunies dans la théorie cartésienne, n'étaient-elles point la loi immuable imposée à toute science des faits ? Stimulée par certaines découvertes, entre autres, l'équivalent mécanique de la chaleur et la loi de corrélation des forces naturelles, la fusion de l'atomisme chimique avec le mécanisme cartésien renouvelé de Démocrite engendra ce vaste système, le mécanisme du XIX^{e} siècle, dont les ramifications embrassèrent la chimie, la physique, la cristallographie et, pour certains savants, la physiologie elle-même.

Il se ramène aux propositions suivantes :

1° Les atomes des corps simples sont des masses homogènes ou de nature identique. Il n'existe entre eux qu'une différence quantitative de matière et de mouvement.

2° Toutes les propriétés corporelles se réduisent au mouvement local. L'affinité chimique, les forces de cohésion et de répulsion, les énergies physiques, telles la chaleur, l'électricité, etc., résultent de l'association ou des modifications variées des mouvements atomiques.

3° L'entité substantielle de l'atome est d'elle-même inerte, dépourvue de tout principe immanent d'activité. Le mouvement local communiqué constitue, sous des formes multiples, la totalité de son énergie d'emprunt.

4° Pour expliquer le jeu des activités naturelles et la succession harmonieuse des phénomènes matériels, il suffit de faire appel aux lois de la mécanique. La finalité intrinsèque ou l'adaptation substantielle des êtres à des fins déterminées est une fiction inutile à la cosmologie moderne.

5° La molécule de tout composé inorganique ou vivant est un petit édifice construit à l'aide de masses atomiques diverses qui y conservent chacune leur être indestructible. Ces petites masses y acquièrent des positions relatives nouvelles, coordonnent leurs mouvements et déterminent ainsi l'état d'équilibre moléculaire.

C'est dans ce changement de rapports réciproques qu'il faut placer la raison dernière des propriétés du composé chimique.

En résumé, l'explication rationnelle de l'univers n'exige que deux facteurs : la *matière homogène* et le *mouvement local communiqué*. Entre la matière et son mouvement, il n'y a donc aucun lien interne nécessaire. D'après M. Rey, le mécanisme n'exclut même pas l'idée de force, mais l'élément matériel et la force sont deux facteurs isolables et de fait isolés dans les théorèmes fondamentaux de la mécanique rationnelle. Il ne peut donc exister entre eux de connexion nécessaire (114).

La masse des corps pondérables est invariable. Le mouvement, au contraire, subit des métamorphoses incessantes : il se transmet d'un corps à l'autre, augmente ou diminue d'intensité, se transforme en mouvement de translation, de vibration, de rotation, etc., se change en électricité, chaleur, magnétisme, énergie chimique. Toutefois, un principe supérieur domine toutes ces vicissitudes, le principe de la conservation de la quantité globale du mouvement (115).

58. Importance du mécanisme. — Telle est la théorie cosmologique qui fut en honneur chez la plupart des savants jusque vers la fin du siècle dernier. Elle était tellement la forme dominante de la tendance scientifique de cette époque, qu'un physicien de marque osait affirmer que « si sur le domaine de la science, le suffrage universel avait une valeur effective, il n'y aurait plus lieu de discuter la question » (116).

Sans doute, au cours de cette période se rencontrent déjà des hommes de science qui gardent en cette matière une prudente réserve.

Plusieurs même reprochent au mécanisme d'accorder à ses théories une valeur ontologique et inaugurent une physique phénoméniste (117).

D'autres ne voient plus dans les théories physiques que des

---

(114) REY, *Les idées directrices de la physique mécaniste (Revue philosophique*, avril 1912).

(115) Plusieurs auteurs enseignent que l'étendue réelle des corps est un des principes essentiels du mécanisme. Nous ne pouvons partager cette opinion. S'il est vrai que plusieurs représentants très autorisés de ce système affirment l'existence de l'étendue, tels, par exemple, Secchi, Du Bois-Reymond, etc., d'autres aussi, et non de moindre valeur, se font les défenseurs de la simplicité absolue des atomes. Sont dans ce cas : Cauchy, Tait, Thomson, Hartmann, etc. D'ailleurs, les thèses fondamentales de la théorie mécanique que l'on retrouve chez tous les partisans, sont compatibles avec les deux opinions.

(116) HIRN, *Notion de la force dans la science moderne*, p. 36. — *Analyse élémentaire de l'univers*, p. 57, Paris. — Hirn fut un des rares auteurs qui aient osé, en ce temps, s'en prendre ouvertement au mécanisme.

(117) Cfr. RANKINE, *Outlines of the Science of Energetics (Proceedings of the philosophical society of Glascow)*, III, 1848-1855, § 1, p. 382.

formules symboliques, de simples méthodes arbitraires de classification et combattent avec énergie le mécanisme traditionnel (118).

En un mot, vers la fin du dernier siècle apparaissent les premiers symptômes de cette réaction puissante qui devait orienter la pensée scientifique dans deux directions nouvelles : le néo-mécanisme et l'énergétique.

Mais le crédit du mécanisme est encore énorme. Il suffit, pour s'en convaincre, de se rappeler en quels termes le professeur Ostwald faisait le procès de la théorie régnante, au Congrès de Lubeck en 1895. « Chose rare à toute autre époque, disait-il, il règne aujourd'hui, à part quelques divergences, un accord presque complet en ce qui concerne la conception du monde extérieur. Notre siècle est le siècle du naturalisme. Interrogez le premier venu, pénétré des idées naturalistes, depuis le mathématicien jusqu'au médecin praticien ; demandez-lui son avis sur la constitution intime du monde. La réponse sera invariablement la même : « Toutes choses sont formées d'atomes en mouvement ; ces ato-» mes et les forces qui agissent entre eux sont les dernières réalités » dont se composent les phénomènes particuliers... La mécanique » des atomes peut donner la clef du monde physique. » Et il ajoute : « Je veux exprimer ici ma conviction que cette manière de voir, malgré son crédit, est insoutenable, que cette théorie n'a pas atteint son but... il faut l'abandonner et la remplacer, autant que faire se peut, par une meilleure » (119).

Le langage du professeur Cornu, au Congrès de physique qui eut lieu à Paris en 1900, ne fut pas moins expressif : « L'esprit de Descartes, disait-il, plane sur la physique moderne. Que dis-je, il en est le flambeau ; plus nous pénétrons dans la connaissance des phénomènes naturels, plus se développe et se précise l'audacieuse conception cartésienne relative au mécanisme de l'univers. Il n'y a dans le monde physique que de la matière et du mouvement » (120).

---

(118) DUHEM, *Physique et métaphysique (Revue des Questions scientifiques,* juillet 1893), p. 79.

(119) OSTWALD, *Die Ueberwindung des wissenschaftlichen Materialismus* (Discours prononcé au Congrès des naturalistes allemands, tenu à Lubeck en 1895). Ce savant adresse au mécanisme un double reproche : le premier est de faire appel à de multiples hypothèses indémontrables et gratuites ; le second est de ne pouvoir expliquer la liaison qui existe incontestablement entre les phénomènes physiques dans le sens étroit du mot et les phénomènes psychologiques. Cfr. OSTWALD, *L'énergie,* p. 120 et passim. Paris, Alcan, 1910. — *Scientia,* t. I, p. 16. 1907.

(120) Parmi les coryphées de ce système, citons : P. SECCHI, *Unité des forces physiques.* Paris, Savy, 1869. « C'est un principe posé par nous, dit-il, comme fondamental, qu'il suffit de la matière et du mouvement pour expliquer tous les phénomènes connus sous le nom de forces physiques. » — TYNDALL, *La chaleur comme mode de mouvement,* p. 25. — Paris, Gauthier-Villars, 1872. — TAIT, *Esquisse historique de la théorie*

Telle est l'opinion de M. Meyerson : « Jusque vers la fin du XX[e] siècle, dit-il, les principes de Descartes ont dominé la science

---

dynamique de la chaleur. Paris, Gauthier-Villars, 1870. — BALFOUR-STEWART, *La conservation de l'énergie. La nature de la force,* par P. DE SAINT-ROBERT. Paris, Germer-Baillière, 1879. « Ce principe (de la conservation de l'énergie), écrit-il, est venu donner un appui à une opinion déjà ancienne, suivant laquelle la chaleur, l'électricité, etc., pourraient bien n'être qu'autant de modalités spéciales du mouvement des atomes de la matière... On a de même tenté d'expliquer la gravitation universelle, la cohésion, l'affinité chimique, par le mouvement d'un éther remplissant l'espace. Nous sommes ainsi conduits à ne voir dans la nature que matière et mouvement et ramenés à l'atomisme professé par Démocrite, par Gassendi, par Descartes... Aujourd'hui, c'est une hypothèse que beaucoup de faits sont venus étayer, et qui est bien près de devenir une vérité. »

HELMHOLTZ, *Mémoire sur la conservation de la force.* Paris, Masson, 1879. La force, d'après lui, « est la tendance de deux masses à modifier leur position réciproque. Le mouvement est une modification des rapports d'étendue ou de position, et dans l'univers, les seuls changements possibles sont des changements de position dans l'espace, c'est-à-dire des mouvements ». Cfr. *Revue scientifique,* 1870, n. 6. Malgré ses sympathies réelles pour le mécanisme, Helmholtz critique cependant le dogmatisme exagéré du mécanisme cartésien. Cfr. *Populärwissenschaftliche Vorträge,* vol. I, s. 92. — LE SAGE et PRESTON, *Phil. Mag.* sept. et nov. 1877, février et mai 1878. — Pour TAINE, les corps n'étant que des mobiles moteurs, il n'y a rien de réel en eux que leurs mouvements ; à cela se ramènent tous les événements physiques. Cfr. *De l'intelligence,* t. I, Paris, Hachette, 1878. — HERBERT SPENCER, *Les premiers principes.* Paris, Schleicher, 1902. Pour cet auteur cependant, la substance demeure l'inconnaissable. — BÜCHNER, *Force et matière,* Paris, Reinwald, 1884.

BERTHELOT, *Essai de mécanique chimique.* Paris, Dunod, 1879. Au terme de ce grand travail, M. Berthelot résume en ces mots ses vues synthétiques sur la constitution de l'univers : « Au point de vue mécanique, deux données fondamentales caractérisent cette diversité en apparence indéfinie des substances chimiques, savoir : la masse des particules élémentaires, c'est-à-dire leur équivalent et la nature de leurs mouvements. La connaissance de ces deux données suffit pour tout expliquer ». — C'est aussi, avec une certaine réserve, le langage de DU BOIS-REYMOND : « La résolution de tous les changements dans le monde matériel en mouvements d'atomes causés par des forces centrales constantes serait, dit-il, le complément de la science naturelle ». *Ueber die Grenzen des Naturerkennens.* Ailleurs, il déclare ouvertement que la force n'est qu'une abstraction. Cfr. *Untersuchungen über tierische Electricität,* B. I. S 40, Berlin, 1888. Cfr. *Reden,* Leipzig, 1886-1887, pp. 105-106. Il est à remarquer cependant que si cet auteur admet la réductibilité de tous les phénomènes au mouvement local, il voudrait exclure de la physique toute recherche des causes métaphysiques, comme l'exige d'ailleurs la doctrine relativiste. — WURTZ, *La théorie atomique.* — CLERK MAXWELL, *La théorie de la chaleur.* « Quand nous avons acquis, dit-il, la notion de la matière en mouvement, nous sommes incapables d'aller plus loin et de concevoir qu'une addition quelconque possible à nos connaissances, puisse expliquer l'énergie du mouvement », p. 386. 1891. « Quand un phénomène physique, écrit-il (*Nature,* mars 1875), peut être complètement décrit comme un changement dans la configuration et le mouvement d'un système matériel, on dit que l'explication dynamique d'un système est complète. » Cependant, dans certains de ses ouvrages, cet auteur semble plutôt favorable au néo-mécanisme.

W. THOMSON, *Conférences scientifiques,* trad. franç., p. 142. 1890. « La théorie cinétique des gaz... constitue un si grand pas dans la voie qui conduit à expliquer, par le mouvement, les propriétés en apparence statiques de la matière, qu'on peut difficilement s'empêcher de pressentir la

de la manière la plus absolue : on ne saurait citer un savant de quelque renom qui s'en soit sciemment écarté » (121).

D'ailleurs, malgré le caractère phénoméniste assez généralement imprimé à la science moderne, on peut se demander si la tendance de la plupart des physiciens actuels diffère, autant qu'on le croit ordinairement, de la tendance cartésienne.

En réalité, la réduction à l'unité reste encore l'une des principales préoccupations des hommes de science. A l'heure présente, on se plaît à regarder l'unité de la matière comme une des conséquences inévitables de la théorie électronique. Or, cette théorie, on le sait, envahit le domaine de la physique, de la chimie et en général des sciences naturelles. « Il est permis de déclarer, dit avec à-propos Meyerson, que la science tend véritablement à réduire tous les phénomènes à un mécanisme ou à un atomisme universel, en définissant ces termes de manière à inclure les théories électriques, et en se rappelant que la causalité de l'être exige que les particules élémentaires soient faites d'une matière unique et que celle-ci ne possède qu'un minimum de qualités, de manière à pouvoir être, dans une certaine mesure, confondue avec l'espace ou son hypostase, l'éther » (122) : « L'opinion scientifique, dit-il

---

création d'une théorie complète de la matière, dans laquelle toutes ses propriétés apparaîtront comme de simples attributs du mouvement ». *Œuvres de H. Davy*, vol. II, p. 11. — De Thiéry, *Introduction à l'étude de la chimie*, p. 446. Paris, Masson, 1906. « Que cette matière primordiale, dit-il, s'appelle le *principium*, ou qu'elle porte le nom de *pantogène* que lui a donné Hinrichs, la matière est une, la condensation de cette matière primitive et la nature de son mouvement en s'effectuant sur des bases distinctes donnent naissance à des éléments différents ; elle est partout la même... partout elle se meut, partout elle vibre, et ces mouvements, qui nous apparaissent comme inséparables de la matière, sont également l'origine de toute force physique et chimique ». — A. Ditte, *Introduction à l'étude des métaux*. Paris, Société d'études scientifiques, 1902 ; etc., etc.

Il est vrai que parmi les partisans du mécanisme un assez grand nombre se servent couramment dans leurs écrits de la notion de force. Mais il importe de ne pas se fier à cette terminologie si l'on veut connaître la pensée intime de ces auteurs. Le mot « force » est en effet susceptible de sens multiples, et très souvent, en mécanique surtout, il n'est nullement synonyme de qualité proprement dite, de principe d'activité distinct de la masse et du mouvement qu'il peut produire ou qui accompagne son exercice. Tel est notamment le cas pour la *force vive* dont l'expression est la moitié du produit de la masse par le carré de la vitesse : $\frac{m\,v^2}{2}$

Actuellement encore, la tendance des physiciens est de considérer la force comme un simple coefficient numérique.

Notons enfin que plusieurs mécanistes ne prétendent nullement bannir la force de l'explication des phénomènes matériels. Mais pour eux, toutes les forces ont un caractère purement mécanique et se trouvent de la sorte destinées à produire uniquement du mouvement local. Cette opinion qu'on appelle d'ordinaire *atomisme dynamique*, ou mieux *mécanisme dynamique*, sera plus tard l'objet d'un examen spécial.

(121) Meyerson, *Identité et réalité*, p. 90. Paris, Alcan, 1922.

(122) Meyerson, *ouv. cité*, p. 463.

encore, subit une puissante poussée vers les doctrines atomistiques, qui toutes supposent l'unité de la matière » (123).

Tel est aussi l'avis de A. Righi. Pour lui, certaines découvertes récentes « doivent modifier radicalement nos conceptions philosophiques fondamentales ». « Les électrons sont les atomes de la substance primordiale inconnue appelée électricité, ou mieux électricité négative, et en même temps, suivant l'opinion désormais unanime, les éléments constitutifs des atomes de la matière. C'est en eux, et dans leurs mouvements, que résident les causes premières de tous les phénomènes du monde physique » (124).

Pour M. Rougier, le mécanisme est un essai de solution du délicat problème de la matière et de l'énergie. Comment concilier ces deux réalités en apparence opposées, le pondérable et l'impondérable ? Le mécanisme a voulu ramener la notion de force à celle de masse en expliquant tous les phénomènes par le mouvement de masses élémentaires. Il supprimait l'énergie au profit de la matière. Le dynamisme a tenté la réduction inverse en ramenant la masse à la force ; il éliminait ainsi la matière au profit de l'énergie. La tendance moderne est de doter l'énergie des propriétés de la matière et de la simplifier elle-même en la ramenant aux mouvements divers de grains d'électricité (125).

A en croire Mme Curie « La classification périodique ainsi généralisée, avec une interprétation nouvelle nous ramène à la conception de l'unité de la matière, idée grandiose, aussi ancienne que la théorie atomique, mais réfutée en apparence par les déterminations très précises des poids atomiques auxquels la chimie accordait une signification simple dont ils sont dépourvus (126).

Sans doute, la thermodynamique triomphante avait déclaré par la voix d'Ostwald, Duhem, Mach, etc., la faillite de l'atomisme. Mais un revirement, observe Urbain, s'est produit en France, moins parmi les chimistes purs, un peu désabusés, que parmi les physico-chimistes et les physiciens d'avant-garde comme Mme Curie, Perrin, Langevin, Debierne, De Broglie... Même mouvement en Angleterre où brillent actuellement les noms de S. S. Thomson, Rutherford, Brayg, Soddy, Aston... Actuellement, l'élan est donné, et l'atomisme, plus combattu peut-être en France qu'il

---

(123) MEYERSON, *ouv. cité*, pp. 96-98.

(124) A. RIGHI, *La nature des rayons X. (Scientia* B. 15, n. 33-1 ; 1914, pp. 31 et suiv.) — Cfr. SIR LOCKYER, *L'évolution inorganique*, passim. Paris, Alcan, 1905.

(125) ROUGIER, *La matière et l'énergie*, pp. 5 et suiv. Paris, Gauthier-Villars, 1921.

(126) Mme CURIE, *L'isotopie et les éléments isotopes*, pp. 12 et 141. Paris, Blanchard, 1924.

ne l'avait été partout ailleurs, y a reçu une impulsion qu'il serait vain et même dangereux de vouloir enrayer » (127).

« La seule difficulté notoire, le caractère fractionnaire des poids atomiques, est maintenant écartée. Rien ne subsiste donc pour nous empêcher de considérer les atomes des éléments comme des agrégats d'atomes d'électricité positive et négative » (128).

« Les atomes, écrit Berthoud, sont formés d'un assemblage d'électrons des deux signes, et leurs propriétés particulières, et par conséquent, celles des éléments sont déterminées par l'architecture de ces édifices et par les mouvements de leurs particules constituantes » (129).

Nous parlerons plus tard de cette reviviscence du mécanisme et de ce qui différencie ce néo-mécanisme, au moins chez la plupart de ses partisans, du mécanisme cartisien.

59. Le double sens des termes « théorie mécanique ». — Il importe de distinguer les deux acceptions de la théorie mécanique, l'une philosophique, l'autre physique. Les transformations de la seconde peuvent être très profondes sans entraîner le moindre changement dans la première.

Entendue au sens *philosophique*, la théorie mécanique ou le mécanisme pur se résume en ces deux idées : homogénéité de la matière et réduction de toutes les propriétés au mouvement.

Entendue au sens *physique*, la théorie mécanique est une théorie qui cherche à rendre intelligible le monde physique au moyen de certaines représentations spéciales — notamment, les espaces et les temps homogènes, les déplacements, les forces, la vitesse, les accélérations, les masses, etc. — auxquelles s'ajoutent un certain nombre de principes généraux relatifs à ces éléments figurés. Sous ses différentes formes, elle conserve toujours le mouvement local comme l'élément figuratif fondamental, mais elle ne cesse d'évoluer. Ainsi, pour ne citer que quelques exemples : actuellement, la plupart des physiciens n'admettent plus l'ancien dogme de l'invariabilité de la masse ; ils croient au contraire que la masse varie et même rapidement à mesure que la vitesse se rapproche de celle de la lumière. De même l'inertie n'est plus considérée comme une propriété inhérente à la matière pondérable, mais comme ayant son origine dans la résistance du milieu ou du champ électromagnétique. Le principe de la conservation de l'énergie et

---

(127) URBAIN, *Les notions fondamentales d'élément chimique et d'atome*, p. 93. Paris, Gauthier-Villars. 1925.

(128) ASTON, *Les isotopes*, p. 97. Paris, Hermann, 1923.

(129) BERTHOUD, *Les nouvelles conceptions de la matière et de l'atome*, p. 80. Paris, Doin, 1923.

le principe de Carnot sont aussi des innovations de la plus haute importance (130).

Or, on le voit, les deux dogmes philosophiques de la théorie mécanique peuvent parfaitement se concilier avec ces conceptions nouvelles et avec bien d'autres changements que la théorie physique pourrait subir.

Cependant, il y a entre les deux théories un lien de parenté qui justifie la communauté de nom : c'est le rôle attribué au mouvement local ou au déplacement dans l'espace.

---

(130) Cfr. REY, *La philosophie moderne*, p. 159. Paris, Flammarion, 1911.

CHAPITRE II.

EXAMEN DU MECANISME TRADITIONNEL

Une théorie ne prend rang dans la science qu'à la condition de pouvoir rendre compte des faits qu'elle a mission d'expliquer, ou du moins, de n'être en opposition manifeste avec aucun d'eux.

Cette condition est-elle remplie par le mécanisme ?

ARTICLE PREMIER

Faits de l'ordre chimique

§ 1er

Les poids atomiques

60. Diversité et constance des poids atomiques. — On donne le nom d'*atome* à la plus petite quantité de matière qui puisse représenter un corps simple.

Bien que d'une petitesse infinitésimale, l'atome possède cependant un poids relatif nettement déterminé (131).

Des quatre-vingt-sept corps élémentaires actuellement connus, il n'en est même aucun qui n'ait son poids atomique spécifique. Aussi, en tenant compte de la valeur croissante de leurs masses atomiques, le chimiste les a rangés en une échelle continue qui s'étend de l'hydrogène, dont le poids est représenté par l'unité, à l'uranium dont l'atome équivaut à 238,5. L'atome de l'oxygène, par exemple, pèse 16, celui du soufre 32, du zinc 65, de l'argent 108, de l'or 196, etc. La sériation d'après les nombres

(131) « De nombreuses expériences, écrit Nernst, nous ont appris que, ni dans les changements physiques d'une substance, ni dans ses transformations chimiques, on n'observe une variation de sa masse... En faveur de l'exactitude de cette proposition témoignent une multitude d'analyses et de synthèses chimiques. » NERNST, *Traité de chimie générale*. Première partie, p. 6. Paris, Hermann, 1911. — « On pourrait penser, dit-il encore, que la notion de l'atome doit être ébranlée par la théorie de la radioactivité... Mais il faut bien insister sur ce que l'idée de l'atome dans les phénomènes physiques et chimiques ordinaires persiste après comme avant, puisque nous ne connaissons aucune voie ni moyen d'influencer cette division des atomes qui est toute spontanée. » *Ouv. cité*, p. 477.

atomiques compte, entre l'hydrogène et l'uranium, 92 éléments. Mais dans cette série 5 places sont réservées pour des éléments à découvrir.

De plus, nous entendons par éléments, des corps chimiquement différents les uns des autres. Or la découverte de l'isotopie a relâché quelque peu le lien qui rattachait le poids atomique à la nature chimique de l'atome. On connaît en effet, à l'heure présente, de nombreux corps, doués de poids atomiques différents mais chimiquement identiques. Telle est par exemple, la pleïade des 6 isotopes du krypton dont les poids atomiques sont respectivement 79, 80, 82, 83, 84, 86. On connaît aussi des isotopes à poids atomiques identiques, mais à propriétés radioactives différentes. Enfin, il existe même des corps de nature chimique différente et de poids atomique identique.

Il reste vrai cependant que chacun de ces corps isotopes ou hétérotopes conserve son poids atomique invariable.

Ces masses diffèrent donc considérablement les unes des autres par la quantité relative de matière qu'elles renferment. Néanmoins, chose étonnante, au point de vue chimique, l'une n'est pas plus susceptible de fractionnement que l'autre, et l'énorme masse atomique de l'uranium conserve aussi bien son intégrité, au sein des réactions chimiques, que la plus petite portioncule d'hydrogène (132).

61. Critique de l'explication mécanique. — Cette persistance constante des poids atomiques, malgré leur grande diversité quantitative, demande une cause. Quelle est-elle ?

Dans la théorie mécanique, on ne peut, pour justifier ce fait, faire appel qu'à deux réalités: la masse et le mouvement local ; car l'univers matériel se réduit à ces deux seuls facteurs.

La masse, nous dit-on, est homogène. Parfait. Mais si la matière de tous les corps est partout la même, pourquoi n'est-elle pas partout divisible de la même manière ? D'où vient que dans chaque corps, la division s'arrête forcément à ces limites différentielles qui circonscrivent les masses atomiques ? Placer dans l'homogénéité de la matière la raison explicative de la diversité constante de ces poids, n'est-ce pas rattacher une diversité d'effets à une identité absolue de cause ?

Le second facteur est le mouvement local. D'après la théorie, les atomes des différents corps simples possèdent une quantité propre de mouvement, et ce mouvement inaliénable, cause de toutes les propriétés distinctives de l'atome, est aussi l'agent protecteur de l'intégrité de sa masse. L'invariabilité des mouvements spéci-

(132) Mais cela ne change rien à la conclusion ci-dessus, car on ne connaît pas de réaction où le chimiste puisse *provoquer* une action *chimique* de ces électrons. » HERZ, *Les bases physico-chimiques de la chimie analytique*, p. 12. Paris, Gauthier-Villars, 1909.

fiques, tel serait donc le principe explicatif du fait. La chimie confirme-t-elle l'hypothèse ?

S'il est pour le chimiste un fait évident, c'est bien la variabilité constante des mouvements atomiques. Pas une seule réaction ne se produit sans qu'ils ne subissent des changements. Et lorsqu'il s'agit de corps doués de grande affinité mutuelle, les atomes perdent parfois une somme si considérable de chaleur, d'électricité et en général d'énergie, qu'ils restent insensibles aux réactifs les plus puissants. C'est le cas, par exemple, pour le sulfate de Baryum $BaSO_4$ l'un des corps les plus inertes du monde inorganique. Bien que les atomes qui le constituent soient très actifs à l'état de liberté, ils sont comme frappés de mort au sein de cette synthèse nouvelle, tant la réaction chimique leur a fait perdre de leurs mouvements respectifs.

Or c'est la loi de tous les atomes de pouvoir passer par ces vicissitudes multiples qui déprimen ou réduisent à un minimum d'intensité leur énergie native (133).

Les mouvements tutélaires de l'intégrité atomique étant donc essentiellement variables et réductibles, comment se fait-il que les masses élémentaires, une fois dépouillées de ces agents protecteurs, triomphent toujours de toutes les forces physiques et chimiques qui tendent à les fractionner ? Au moins, les grosses masses, semble-t-il, comme celles du plomb 207, ou du mercure 200, devraient s'éparpiller en fragments plus ténus. Il n'en est rien cependant ; l'expérience nous le prouve.

Cette difficulté est très grave pour le mécanisme. Le P. Secchi, l'un des défenseurs les plus autorisés de la théorie, confessait volontiers « que jusqu'ici, l'on n'a pas encore fourni la raison de la diversité constante des poids atomiques » (134).

L'existence d'isotopes n'infirme-t-elle pas la valeur de cette preuve. On appelle *isotopes* des éléments qui ont le même nombre atomique, et par conséquent les mêmes propriétés chimiques et

---

(133) Pour M. Vignon, la conservation de ces mouvements spécifiques serait même impossible en dehors des cas de combinaison.

« Le Mécanisme, dit-il, va nous dire que les corps simples sont caractérisés surtout par la forme de leur vibration atomique typique... Voudra-t-on bien nous dire comment cette vibration s'est établie sans force spécifique ? Si elle s'est établie par hasard, voit-on vraiment dans sa conservation l'effet des chocs atomiques ? Pour nous, l'effet de ces chocs serait exactement inverse. Plaçons de l'hydrogène dans un ballon. Les chocs des atomes H contre les parois du ballon auront vite fait de déranger ces admirables vibrations spécifiques, que des chocs avaient réalisées, si les chocs réciproques de ces atomes ne sont pas déjà des causes très suffisantes de perturbation. Quand nous retrouverons notre gaz, ce ne sera plus de l'hydrogène, car les atomes n'auront pas conservé leur vibration spécifique. » Cfr. VIGNON, préparateur de zoologie à la Sorbonne, *La notion de force, le principe de l'énergie et la biologie générale*, p. 30, Paris, 1900.

(134) P. SECCHI, *L'Unité des forces physiques*, p. 133. Paris, Savy, 1869.

physiques ordinaires, mais qui diffèrent les uns des autres, soit par leur poids atomique, soit par leurs propriétés radioactives.

L'existence de ces corps nous montre sans doute que les propriétés caractéristiques des corps simples sont moins dépendantes de la quantité de matière qu'on l'avait cru jusqu'ici, puisque des corps de poids atomiques différents peuvent avoir les mêmes propriétés chimiques et physiques. Il reste vrai cependant que dans tout le domaine de la chimie, les atomes de nos 87 éléments fonctionnent comme de vraies individualités divisibles, il est vrai, mais de fait indivises. De plus, si l'on parvient, par certains moyens physiques à mettre partiellement en liberté les isotopes dont ils résultent, ces isotopes présentent toujours un poids atomique propre, invariable, en même temps que le groupe total des propriétés physiques et chimiques de l'espèce. Nous retrouvons donc en eux les deux caractères incompatibles avec la théorie mécanique que nous avons signalés tantôt.

« Les éléments inactifs complexes (non radioactifs), dit Mme Curie, se trouvent dans la nature à l'état de mélange de composition définie mise en évidence par la constance du poids atomique chimique » (125). « Il est évident, d'après cela, ajoute-t-elle, que le poids atomique moyen des chimistes conserve une signification précise dont l'importance augmente en raison du fait, qui paraît général, de la composition isotopique constante de matières de provenances diverses » (136).

62. Objection. — La radioactivité de la matière a jeté un jour nouveau sur la constitution des corps simples. Il paraît de plus en plus probable que les atomes de tous les éléments représentent des mondes complexes, d'inégale richesse, mais résultant tous de l'union de deux constituants primordiaux, le proton et l'électron. Or, cette hypothèse admise, on comprendrait sans peine que les puissantes énergies dont disposait la nature au commencement des temps aient pu agglomérer ces particules, en groupes atomiques différents, mais assez stables pour résister désormais aux influences de nos forces chimiques amoindries de désagrégation (137).

---

(135) Mme CURIE, *L'isotopie et les isotopes*, p. 154. Paris, Blanchard, 1924.

(136) Id. Ouv. cit. p. 199. — BERTHOUD, *Les nouvelles conceptions de la matière et de l'atome*, p. 186. Paris, Doin, 1923.

(137) « Les propriétés des différents éléments, dit Spencer, résultent d'une différence d'arrangement provenant de la composition et recomposition d'unités ultimes homogènes. » Cfr. *Contemporary Review*, juin 1872. C'est aussi la pensée qu'a développée le célèbre chimiste Crookes à Birmingham, en septembre 1886, devant la section chimique de l'Association britannique. — Item cfr. I. JARKOVSKI, *Hypothèse cinétique de la gravitation universelle* en connexion avec la formation des éléments chimiques. Moscou, 1888.

Ce n'est pas le lieu de discuter la valeur de l'hypothèse. Quel qu'en soit le bien fondé, elle recule la question sans la résoudre.

En dépit des circonstances de leur formation, nos masses atomiques actuelles resteraient homogènes et les mouvements internes dont elles seraient animées subiraient la loi inéluctable de la variabilité.

Pas de choc, nous dit la mécanique, sans perte de mouvement. Si nos atomes chimiques sont eux-mêmes des agrégats, c'est aux dépens de leurs parties constituantes que se fera cette perte d'énergie dont témoignent à l'évidence nos réactions chimiques. Sinon, quel serait le support du mouvement ? Soumis comme tous les autres à des variations infinies, les mouvements primitifs, intérieurs à l'atome, finiront par céder à la loi du nivellement de l'énergie, et avec eux disparaîtra la prétendue cause de la stabilité atomique.

D'ailleurs, à douer l'atome d'un mouvement spécifique, inaliénable, on arrive à renier l'un des principes fondamentaux de la théorie, à savoir l'homogénéité de la matière. Proclamer l'identité absolue de tous les substrats matériels, et en faire en même temps le siège d'exigences spéciales ou d'aptitudes spécifiques à l'égard de telle ou telle quantité de mouvement, revient à accorder à un même sujet deux attributs contradictoires. Une matière universellement homogène doit s'accommoder d'un mouvement quelconque et n'en réclamer aucun de préférence à un autre. En un mot, il faut de toute nécessité qu'elle soit indifférente.

§ 2

L'affinité chimique

63. Notion de l'affinité. — Le monde inorganique résulte des combinaisons variées de quatre-vingt-sept corps simples environ. Toutefois, ces associations ne se font pas au caprice du hasard. Chaque corps a ses tendances propres, ses préférences marquées que la nature comme le chimiste doit respecter.

Certains éléments ont une sympathie mutuelle si prononcée qu'il suffit de les mettre en contact pour en déterminer l'union.

D'autres veulent bien aussi se combiner, mais à la condition qu'on supprime au préalable certains obstacles qui s'opposent à l'essor spontané de leurs activités, tel le frottement chimique ou l'union trop étroite des atomes dans la molécule.

Plusieurs ne s'unissent que moyennant l'apport d'une certaine quantitité de chaleur.

Quelques-uns ont une aptitude si faible qu'ils ne cèdent que dans des circonstances exceptionnelles et ne réalisent que des unions précaires.

Il en est enfin dont l'antipathie mutuelle est réellement invincible, quel que soit le moyen employé pour en triompher.

Cette propriété, en vertu de laquelle les corps tendent à former des composés déterminés, s'appelle « affinité ».

Longtemps les chimistes la définirent : « l'aptitude des contraires à la combinaison » (138). C'est un fait digne de remarque que les unions les plus naturelles, les plus spontanées se forment surtout entre les éléments dont les propriétés physiques et chimiques diffèrent davantage.

Wurtz avait trouvé un mot très expressif pour la désigner en l'appelant « force élective ». « L'affinité, dit-il, c'est l'énergie chimique ; elle détermine l'intensité et le sens des réactions » (139).

Cette notion d'affinité a été interprétée dans un sens plus large ; elle comprend non seulement la force chimique qui unit les atomes hétérogènes dans la molécule du composé, mais aussi la force attractive qui s'exerce entre les atomes homogènes d'un même corps. D'après cette opinion, il y aurait donc de l'affinité entre les deux atomes d'hydrogène constitutifs de la molécule H_2 comme entre les deux atomes de chlore et d'hydrogène dans la molécule HCl. En un mot, l'hétérogénéité ne serait plus une condition nécessaire de l'affinité (140).

Actuellement, les chimistes et les physiciens en général attribuent à l'affinité un caractère électrique. D'après la théorie électronique, chaque élément possède, dans la couche périphérique la plus éloignée du noyau, un nombre déterminé d'électrons. Le nombre maximum d'électrons que cette couche puisse contenir est huit, et ce nombre est atteint dans le groupe des gaz inertes, l'argon, le crypton, le xénon. Une des propriétés de ce nombre est de donner à l'élément une très grande stabilité qui se traduit par l'absence complète d'affinité.

Quant aux autres éléments, les uns ont une tendance à se rapprocher de ces gaz inertes en complétant leur zone la plus ex-

---

(138) HENRY, *Précis de chimie*, t. I, p. 57. Louvain.

(139) WURTZ, *La théorie atomique*, p. 165.

(140) Cette conception unitaire de l'affinité est loin de s'imposer. Il eût été plus logique d'admettre, en conformité d'ailleurs avec les faits, que les atomes peuvent s'unir suivant deux sortes de forces : les atomes homogènes sont groupés par les forces attractives ordinaires ; les atomes hétérogènes se combinent sous l'influence des attractions et répulsions électriques. La théorie électronique nouvelle, les phénomènes de l'électrolyse, l'interprétation des complexes sont autant de faits qui nous ramènent à l'hypothèse dualistique d'après laquelle, un rôle considérable doit être accordé au caractère positif et négatif des substances réagissantes. Cfr. NERNST, *Traité de chimie générale*, t. I, p. 324. Paris, Hermann, 1911.

terne avec des électrons enlevés à d'autres corps ; les autres, au contraire, tendent à s'en rapprocher en cédant à d'autres tous leurs électrons périphériques. Mais dans l'un et l'autre cas, grâce à ce transfert d'électrons, les deux éléments en présence se transforment en ions dont l'un manifeste un caractère électrique positif déterminé par la perte d'un ou de plusieurs électrons négatifs, et dont l'autre présente un caractère négatif par suite d'un gain équivalent d'électrons. C'est entre ces ions, que sa réaliste la combinaison. L'affinité, conçue à la lumière de la théorie électronique, s'identifie donc avec l'aptitude que possède un corps à s'unir à tels ou tels autres corps moyennent un transfert préalable d'électrons. Si l'on met en présence du chlore et du sodium, par exemple, l'atome du premier, en raison de sa tendance à compléter sa zone externe, s'unit à l'électron périphérique du sodium. Les deux ions Cl^- et Na^+ représentent des systèmes plus stables que les deux atomes neutres ; sous l'influence de leur attraction électrostatique, ils s'unissent l'un à l'autre et forment la molécule NaCl.

Cette théorie de l'affinité suivant laquelle les atomes se trouvent, dans une molécule, à l'état d'ions, unis entre eux par leurs attractions mutuelles sans qu'aucun des électrons périphériques ne joue un rôle particulier, n'est applicable qu'aux composés hétéropolaires, c'est-à-dire formés d'éléments d'un caractère électrochimique opposé. Comme le fait remarquer Berthoud, « il s'en faut que le problème de l'affinité soit complètement et définitivement résolu. » Aussi l'existence des composés homéopolaires est loin d'avoir livré ses secrets aux recherches des physiciens. « Il ne faut pas oublier, ajoute le même auteur, que nous sommes ici dans un domaine qui vient de s'ouvrir, et dans lequel l'insuffisance de notre connaissance de la mécanique de l'atome se fait vivement sentir. Les vérifications expérimentales sont difficiles, souvent même impossibles, et les hypothèses ne peuvent avoir qu'un caractère provisoire » (141).

A la suite de Berthelot, les chimistes avaient cru découvrir, dans la quantité de chaleur dégagée par les combinaisons, la mesure de l'affinité des éléments qui y concourent. « Tout changement chimique, accompli sans l'intervention d'une énergie étrangère, disait le chimiste français, tend vers la production du corps ou du système de corps qui dégage le plus de chaleur » (142).

Ce principe, appelé par son auteur « principe du travail maximum », fut longtemps considéré comme exprimant la véritable orientation des activités chimiques, le sens suivant lequel elles

(141) BERTHOUD, *Les nouvelles conceptions de la matière et de l'atome*, pp. 304-306. Paris, Doin, 1924.

(142) BERTHELOT, *Essai de mécanique chimique*, t. I, p. 29. Paris, Dunod, 1879.

doivent se produire. Il est pour le chimiste, disait Gauthier, d'une souveraine importance parce qu'il permet de prévoir et de prédire les combinaisons (143).

64. Le dégagement de chaleur n'est pas une mesure adéquate de l'affinité. — Malheureusement, cette règle si simple et si utile pour la prévision des phénomènes chimiques, manque de rigueur scientifique et se trouve même contredite par des faits nombreux.

On connaît des réactions qui se font spontanément en absorbant de la chaleur. Tels sont, par exemple, les mélanges réfrigérants (144).

Il y a ensuite les phénomènes d'équilibre et les actions réversibles. Lorsqu'on met dans un bocal de la vapeur d'iode et de l'hydrogène, la combinaison commence immédiatement et nous donne $H_2 + Io_2 = 2\ HIo$. Mais la formation de l'acide HIo ne se continue pas jusqu'à ce que tout l'hydrogène et tout l'iode soient combinés. Après un certain temps, l'action cesse et l'on trouve dans le bocal, une certaine quantité d'hydrogène et d'iode libre, et une certaine quantité d'acide iodhydrique. Si la pression et la température restent constantes, le rapport entre ces deux quantités ne change plus ; il s'établit un équilibre chimique, en ce sens que le nombre de molécules HIo qui se forment est égal au nombre de molécules du même acide HIo qui se décomposent. Il se fait donc deux actions chimiques inverses et simultanées (145).

Or dans le cas d'équilibre, la plus légère modification apportée soit à la température, soit à la pression, suffit pour orienter la réaction chimique dans le sens de la combinaison ou dans le sens de la décomposition (146).

---

(143) GAUTIER, *Cours de chimie*, t. I, p. 28. Paris, Savy, 1887.

(144) Un mélange d'acide chlorhydrique et de sulfate de sodium cristallisé détermine un froid considérable. Pour sauvegarder son principe, Berthelot distinguait, dans les cas de ce genre, deux sortes de phénomènes thermiques, l'un d'origine chimique, l'autre d'origine physique provenant d'un changement d'état. L'absorption de chaleur était due, d'après lui, non pas à l'action chimique, mais au phénomène physique. M. Brunhes regarde cette distinction comme fondée, car ces deux énergies, l'une chimique, l'autre physique sont de qualité différente. Cfr. BRUNHES, *La dégradation de l'énergie*, p. 174. Paris, Flammarion, 1908.

(145) HERZ, *Les bases physico-chimiques de la chimie analytique*, p. 99. Gauthier-Villars, 1909.

(146) DUHEM, *L'évolution de la mécanique*, p. 294. Paris, Joannin, 1903. Ces actions réversibles ou équilibres chimiques se présentent, mais à des degrés différents, dans tous les systèmes *homogènes*, c'est-à-dire dans les systèmes formés entièrement, soit de corps gazeux, soit de liquides et de solutions capables de se mélanger complètement. Elles sont réglées par une loi appelée *la loi de l'action chimique des masses*, loi d'après laquelle l'action chimique d'un corps est proportionnelle à sa concentration. Cfr. HERZ, *Les bases physico-chimiques*, pp. 99-100. Cette loi nous montre, dit Ostwald, « que le résultat d'une réaction dépend de la masse relative ou plus exactement de la concentration aussi bien que de la nature du

D'autre part, il est clair que si la formation d'un corps dégage de la chaleur, la décomposition doit en absorber une quantité équivalente, en vertu de ce principe, qu'un corps, en se décomposant, reprend toute la chaleur qu'il avait perdue en se combinant (147).

65. Portée exacte du principe de Berthelot. — Les exceptions possibles au principe de Berthelot sont donc nombreuses. S'ensuit-il qu'il faille rejeter ce principe comme inutile ? Et surtout faut-il en conclure que l'affinité chimique ait perdu toute son importance ?

« Nous ne pouvons, dit Nernst, nous dispenser d'ajouter cette indication en faveur de la généralité du principe de Berthelot, que, dans l'ensemble, la *probabilité* des réactions qui dégagent de la chaleur est beaucoup plus grande que celle des réactions qui en absorbent, et qu'ainsi, *bien souvent, le sens des forces chimiques concorde avec celui suivant lequel un phénomène chimique se fait avec dégagement de chaleur.* Cette règle que nous ne pouvons admettre comme une loi naturelle absolue, se vérifie cependant trop souvent pour que nous la passions sous silence ; il ne serait pas plus absurde de l'admettre comme absolue que de n'en tenir aucun compte » (148).

Telle est aussi la pensée de Brunhes : « A force de discuter

---

corps ». Cfr. OSTWALD, *L'évolution d'une science, la chimie,* p. 213. Paris, Flammarion, 1909.

Les actions réversibles ou équilibres chimiques se rencontrent aussi dans les systèmes *hétérogènes,* c'est-à-dire dans les systèmes formés d'un ensemble de corps qui ne sont plus répandus uniformément dans le milieu où se passe la réaction. Tel est, par exemple, le système formé par un liquide et un corps gazeux, ou bien par plusieurs corps solides, ou bien encore par plusieurs liquides non entièrement miscibles, etc. Cette sorte d'équilibre est régie par « *la règle des phases* » qui détermine à quelles conditions l'équilibre peut être maintenu, ou, si l'on veut, à quelles conditions la combinaison et la décomposition peuvent se faire simultanément, avec une égale vitesse. Il ne s'agit pas ici d'équilibres physiques.

De nombreux systèmes hétérogènes donnent lieu à des réactions complètes et définitives. Ce cas se présente chaque fois qu'un produit est insoluble ou volatil. Le corps volatil qui disparaît et le corps insoluble cessent d'être des masses actives. Cfr. HERZ, *Les bases physico-chimiques,* p. 119.

(147) Il importe aussi de noter que le dégagement de chaleur qui accompagne une combinaison peut comprendre deux parties très diverses. Si le chlorure de sodium, par exemple, est formé par action des composants en milieu aqueux, la presque totalité de la chaleur a pour origine l'ionisation des composants, c'est-à-dire le passage d'un électron de l'atome du sodium, à celui du chlore. L'union des ions ainsi formés n'a qu'une tonalité thermique très faible.

Mais si la réaction s'effectue entre le chlore et le sodium à l'état gazeux, c'est la combinaison des ions qui produit la presque totalité de l'effet thermique ; l'ionisation, au contraire, s'accompagne d'un dégagement très faible de chaleur.

(148) NERNST, *Traité de chimie générale,* 2e partie, p. 294. Paris, Hermann, 1911. — REYCHLER, *Les théories physico-chimiques,* 3e éd., p. 452. Bruxelles, Lamertin, 1905.

des réactions d'équilibre, on a parfois méconnu le grand fait aperçu par Thomson et mis en lumière par Berthelot, que les réactions chimiques se passent de préférence dans un sens (149).

Suivant Urbain et Sénéchal, « le principe du travail maximum apparaît comme une règle qui, sans être absolument générale, englobe la grande majorité des cas ». « Berthelot, ajoutent-ils, avec le sens profond des phénomènes chimiques qui caractérisait son génie, avait trouvé dans son principe du travail maximum, la méthode d'approximation la plus pratique qui ait encore été proposée ». « En réalité, le principe de Berthelot serait rigoureux si la chaleur de réaction *purement chimique* — c'est-à-dire abstraction faite des changements d'état physique qui accompagnent le plus fréquemment la réaction — était entièrement transformable en travail mécanique » (150).

Si donc, l'on considérait comme mesure de l'affinité, non plus la chaleur dégagée, mais la variation de l'énergie utilisable que le système est apte à produire, ou le travail maximum qu'on peut en obtenir, les résultats seraient rigoureusement exacts. « La possibilité d'une réaction, écrit Van 't Hoff, est liée à la possibilité de produire du travail » (151).

La vieille notion d'affinité peut donc être maintenue, à condition de la préciser au moyen des données de la thermodynamique. « Il me paraît intéressant d'observer, dit Perrin,, qu'au fond, en introduisant la notion de potentiel, Gibbs a repris et précisé, en l'étendant au cas général des mélanges homogènes, la vieille notion

---

(149) Brunhes, *La dégradation de l'énergie*, p. 177. Paris, Flammarion, 1908.

(150) Urbain et Sénéchal, *Introduction à la théorie des complexes*, p. 43. Paris, Hermann, 1913. — De Thierry, *Introduction à l'étude de la chimie*, p. 211. Paris, Masson, 1906. — En fait, ce n'est qu'au zéro absolu que le travail maximum et l'effet thermique sont identiques. « A cette température, le principe de Berthelot est absolument rigoureux, puisqu'il ne peut se produire que des réactions exothermiques et totales. » Cfr. Nernst, *op cit.*, t. I, p. 293. C'est aussi pourquoi le principe du savant français est le plus souvent d'accord avec les faits lorsque les réactions chimiques se produisent à des températures relativement basses. Il perd de sa rigueur à mesure que les températures s'élèvent, en sorte, qu'aux températures très hautes, les corps endothermiques se forment et les corps exothermiques se décomposent. Cfr. Van 't Hoff, *La chimie physique et ses applications*, p. 25. Paris, Flammarion, 1903. — Duhem, *L'évolution de la mécanique*, p. 293. — Picard, *La science moderne*, p. 206. Paris, Flammarion. — Solet, *Dynamique chimique*. — (Wurtz, *Dictionnaire de chimie*, 2e supplément, p. 333).

(151) Van 't Hoff, *La chimie physique et ses applications*, p. 24. — Le chlorure de phosphonium PH_4Cl, corps solide, se décompose spontanément à température ordinaire et donne naissance à deux corps gazeux : PH_3 et HCl, en absorbant une quantité considérable de chaleur. Mais ce corps exerce, dans le fait de sa décomposition, une pression d'environ vingt atmosphères. Il y a dans ce cas, une production de travail mécanique, sans dégagement de chaleur, et c'est la possibilité même de ce travail qui régit le sens de la réaction. *Op. cit.*, p. 24.

d'*affinité chimique*. Ce terme expressif ne doit pas être abandonné. On disait en un langage certainement trop vague, qu'un corps a beaucoup d'affinité pour un autre lorsque leur union, à travail extérieur nul, dégage beaucoup de chaleur » (152).

66. Vrai caractère de l'affinité. — Malgré la conception nouvelle de l'affinité, il reste vrai, comme l'affirmait le chimiste Wurtz, que les corps ont leur affinité élective, caractéristique, leur cercle d'éléments sympathiques, et que l'union des agents chimiques, loin d'être capricieuse, est soumise à des règles déterminées. Mais l'expérience le prouve, pour être élective, l'affinité n'est nullement indépendante. L'action des masses, la température et la pression sont autant de facteurs dont il faut tenir compte quand on veut déterminer quelles sont, pour une réaction chimique donnée, les conditions d'exercice de l'affinité, les limites de son action, les circonstances où cette action cesse et fait place à une réaction inverse. « Les réactions chimiques, dit Ostwald avec raison, sont déterminées par d'autres facteurs que par la nature des corps seule » (153).

D'ailleurs, il est clair « qu'une combinaison chimique doit être considérée comme un état d'équilibre entre les forces extérieures qui entourent un corps et les forces intérieures que ce corps contient » (154).

Ainsi conçue, l'affinité peut être considérée comme l'une des propriétés les plus importantes de la matière. Selon Arrhénius, « le problème de l'affinité, qui est celui de la cause des réactions chimiques, est le problème central de la chimie » (155).

67. Conception mécanique de l'affinité. Son insuffisance. — Le monde, nous disent les partisans de cette théorie, à la suite de Descartes, est une vaste machine dont toutes les activités sont réglées par les lois de la mécanique. Des masses homogènes et du mouvement suffisent à en expliquer le jeu. Deux corps donnés auront donc de l'affinité l'un pour l'autre si leurs mouvements peuvent s'harmoniser, s'enchevêtrer, déterminer enfin un état d'équilibre stable.

On le comprend, la tendance des éléments devient ici tout extrinsèque ; elle dépend exclusivement de l'impulsion communiquée aux atomes et de la direction qui en résulte.

S'il en est ainsi, pourquoi des collisions intenses n'auraient-

---

(152) PERRIN, *Traité de chimie physique*, Les principes, p. 244. Paris, Gauthier-Villars, 1913.

(153) OSTWALD, *L'évolution d'une science*, La chimie, p. 206, Paris, Flammarion, 1909.

(154) LE BON, *L'évolution de la matière*, p. 282, Paris, Flammarion, 1912.

(155) ARRHÉNIUS, *Conférences sur quelques thèmes choisis de chimie physique*, p. 43, Paris, Hermann, 1912.

elles pas lieu entre des corps quelconques dont on peut, à son gré, ménager la rencontre ? Se peut-il que des atomes, transportés par le mouvement purement mécanique dans une même sphère d'action, se refusent toujours à échanger leurs activités, malgré tous les efforts tentés pour vaincre leur absolue indifférence ?

Les chimistes, il est vrai, interprètent actuellement l'affinité d'après les données nouvelles de la théorie électronique. Pour eux, l'électron ou l'atome d'électricité est l'élément dynamique qui unit entre eux les corps réagissants, en sorte que l'affinité se ramène à une attraction électrique. Quoi qu'il en soit de cette opinion, les difficultés du mécanisme restent les mêmes : le déplacement et le jeu des électrons, les attractions qui en résultent, ne peuvent consister qu'en certaines modalités du mouvement local, l'élément-force n'ayant pas de place dans la nature.

68. Objection. — On nous dira peut-être, que la possibilité d'une rencontre ou même d'une collision atomique ne garantit pas encore la possibilité d'une combinaison. D'après la théorie, en effet, l'union des corps réagissants réclame en plus, pour s'établir, l'harmonisation des mouvements, ou mieux, l'équilibre interatomique.

Quelques considérations, empruntées à la thermodynamique, nous montreront aisément combien est vaine cette échappatoire.

D'après M. Perrin, un centimètre cube d'air, pris dans les conditions normales, contient 30 milliards de milliards de molécules. Chacune de ces molécules est déviée de sa course, par suite des chocs qu'elle subit, 5 milliards de fois par seconde (156). Chiffre bien respectable, sans doute. Il est clair que dans ce fourmillement prodigieux, des rencontres incessantes, innombrables et des plus variées doivent fatalement se réaliser entre les particules gazeuses, et que les mouvements moléculaires ou atomiques subissent, à chaque instant, des modifications profondes, aussi bien dans leur intensité que dans leur direction. Dans un tel milieu, en effet, la constance relativement courte d'un mouvement donné serait inintelligible.

« Comme on est conduit à admettre, dit M. Borel, que chaque molécule subit plusieurs milliards de chocs par seconde, on voit qu'au bout d'un temps inappréciable, l'irrégularité la plus complète se serait produite dans les valeurs des vitesses. Lorsque l'on cherche à imaginer le chaos d'un tel mouvement dans lequel chaque molécule subit des milliards de chocs chaque seconde, on est conduit à admettre que la distribution des vitesses est la même que si elle était produite par le hasard » (157).

---

(156) PERRIN, *Les atomes*, p. 118, Paris, Alcan, 1924. — MAURAIN, *Les états physiques de la matière*, p. 15, Paris, Alcan, 1910.

(157) E. BOREL, *Le hasard*, p. 168. Paris, Alcan, 1914.

Or, bon nombre de nos corps chimiques sont susceptibles de prendre l'état aériforme sous l'influence de la chaleur et de l'électricité. Ils seront donc, eux aussi, soumis à cette loi de la variabilité du mouvement qui caractérise cet état particulier de la matière. Dès lors, d'où viendrait l'obstacle qui empêcherait l'harmonisation des mouvements requise pour la combinaison ? Ceux-ci ne sont-ils pas du nombre des mouvements possibles ? Toute exception devient ici une énigme. Cependant, l'expérience nous l'atteste, même à l'état gazeux, les corps ont leurs préférences et leurs invincibles antipathies.

Certains auteurs, entre autres Claude Bernard, s'imaginaient pouvoir se soustraire plus aisément à la difficulté, en disant « que l'affinité est un vain mot » (158). Mais supprimer le mot n'est pas supprimer le fait dont il est l'expression plus ou moins heureuse. Ce fait est indéniable, et tout les chimistes l'admettent.

« L'affinité, écrit encore le savant français, est pour le chimiste quelque chose de bien déterminé... Il sait à la vérité que dans les phénomènes chimiques, les forces physiques interviennent d'une façon non douteuse, qu'il y a une grande part à faire, dans la réaction du chlore sur l'hydrogène, à la chaleur et à la lumière... mais toujours est-il qu'il se croit en droit de distinguer... ce qui porte l'hydrogène sur le chlore de tout autre agent naturel, et c'est cela qu'il désigne sous le nom d'affinité » (159).

69. Objection. — Enfin, pour concilier l'affinité avec les dogmes de l'atomisme, certains auteurs se contentent de l'identifier avec la tendance générale de la nature à la stabilité.

Dans ses évolutions, nous dit-on, le monde matériel tend toujours à prendre l'état le plus stable, le plus conforme aux lois de l'équilibre. Cette apparence de choix, que nous nommons affinité, n'est donc en réalité qu'une conséquence fatale du mécanisme auquel les activités corporelles se trouvent soumises.

« Les phénomènes chimiques, dit Brunhes, ne font pas exception aux règles qui régissent le sens de tous les phénomènes naturels. Ils s'effectuent spontanément dans le sens qui comporte une dégradation d'énergie. Dans les phénomènes chimiques, comme dans tous les autres, quelque chose se perd. L'énergie utile se détruit, et on ne la recouvre qu'en y mettant le prix » (160).

---

(158) Claude Bernard, *Leçons de physique générale*, IX, p. 208. Paris.

(159) Wurtz, *La théorie atomique*, p. 167.

(160) Brunhes, *La dégradation de l'énergie*, p. 179.

Du point de vue de la dégradation de l'énergie, M. Brunhes distingue trois sortes de phénomènes chimiques : 1° Les phénomènes *réversibles* qui ne comportent ni dégradation, ni restitution d'énergie utile. C'est le cas-limite où l'inégalité qui exprime le principe de Carnot, devient une égalité. Mais ce serait une erreur d'itentifier les phénomènes réversibles, chimiques

« La tendance vers un état stable, écrivent MM. Urbain et Sénéchal, est générale. Le principe de Carnot domine cette évolution universelle » (161).

Pour M. Delbet, la notion de travail maximum paraît peu heureuse, parce qu'elle donne l'impression que la libération d'énergie est en quelque sorte le but de la réaction et comme une sorte de cause finale. « Il me paraît plus philosophique de dire, ajoute-t-il, que le phénomène qui se produit est celui qui conduit à l'état le plus stable dans les conditions données » (162).

Solution de cette difficulté. Le principe dont s'inspire l'objection est incontestable. Mais, à le regarder de près, on découvre aisément qu'au lieu de nous fournir le pourquoi de l'affinité élective, il en exprime simplement le fait sous une forme nouvelle.

Le dégagement de chaleur et la stabilité sont, de l'avis de tous, au moins dans un grand nombre de cas, un signe et une mesure partielle de l'affinité, en même temps que le résultat de son efficience. Affirmer que cette force élective est la tendance de la nature à l'équilibre interatomique ou moléculaire, c'est affirmer un fait, mais ce n'est point l'expliquer. La question soulevée reste entière en l'on se demande : D'où vient que, parmi des milliers de formes d'équilibre possibles, les corps choisissent en règle générale les plus stables, et renoncent spontanément à toutes les autres ? pourquoi chaque corps tend-il à cet état général, en suivant des voies qui lui sont propres, en réalisant des combinaisons bien déterminées, sous le double rapport de leurs propriétés respectives et des conditions de leur réalisation ? pourquoi enfin cet état d'équilibre est-il impossible pour tant d'autres corps, animés cependant d'un mouvement local intense et variable ?

« La thermodynamique, écrit M. Duhem, impose à tous les phénomènes du monde matériel une tendance dans un même sens... Mais l'hypothèse que les effets de la matière brute sont d'essence mécanique ne rend aucun compte de la commune tendance qui sollicite ces effets » (163).

On fait appel à la tendance de la nature. Mais dans l'hypo-

---

et physiques ; car, dans les premiers, les énergies chimiques mises en jeu sont des formes supérieures de l'énergie, tandis que, dans les seconds, les énergies sont de qualité inférieure. 2° Il y a, en second lieu, la classe très générale de réactions qui comportent une dégradation de l'énergie. 3° Il existe enfin des phénomènes dans lesquels la dégradation de l'énergie est ralentie ou arrêtée par un frottement ; ils demandent pour s'accomplir un travail préliminaire. Pour cet auteur, le principe de la dégradation de l'énergie est donc le grand principe qui domine les transformations de la matière. Cfr. BRUNHES, *La dégradation de l'énergie*, pp. 177-179.

(161) URBAIN et SÉNÉCHAL, *Introduction à la chimie des complexes*, p. 40. Paris, Hermann, 1913.

(162) DELBET, *La science et la réalité*, p. 294, Paris, Flammarion, 1913.

(163) DUHEM, *L'évolution de la mécanique*, p. 156. Paris, Joannin, 1903.

thèse mécanique, cette tendance peut-elle avoir son origine dans le fond même des êtres ? Nullement, elle résulte de l'impulsion mécanique communiquée ; et de même que la flèche change de direction avec l'impulsion qu'elle reçoit, ainsi l'affinité modifierait ses directions privilégiées relativement si constantes, chaque fois que les corps seraient soumis à des impulsions nouvelles.

Au surplus, cette universelle tendance de la nature à la stabilité a été surtout mise en relief par la découverte du principe de Carnot lequel, généralisé, porte actuellement le nom de principe de la dégradation de l'énergie : si la *quantité* d'énergie de l'univers reste invariable, il est certain cependant que sa *qualité* diminue, qu'elle devient de moins en moins utilisable pour la production d'effets mécaniques. L'univers entier se modifie donc dans une direction constante, et tend vers un état d'immobilité complète. Or ce principe s'est montré jusqu'ici inconciliable avec le mécanisme. On ne comprend pas, en effet, que dans un système purement mécanique, il puisse y avoir irréversibilité générale des phénomènes (164).

§ 3

L'atomicité ou la valence

70. Définition de l'atomicité. — D'après le caractère de leurs propriétés électriques, les éléments de la chimie se partagent en deux grandes catégories : les corps positifs d'une part, les corps négatifs de l'autre (165).

Les premiers dont font partie nos métaux usuels, tels le fer, le plomb, le cuivre, se combinent généralement bien au chlore qui est un élément négatif. Les autres ont plus de sympathie pour l'hydrogène, élément positif. Ces deux corps simples ont ceci de caractéristique, qu'un atome de l'un ne s'associe jamais qu'à un seul atome de l'autre. La molécule du composé auquel ils donnent naissance en fait foi : HCl. L'atome d'hydrogène épuise donc, en s'unissant à celui du chlore, toute la capacité de combinaison dont il est doué à son égard. Ces deux atomes sont parfaitement équivalents.

Mais si l'on examine les combinaisons réalisées par les autres corps simples avec l'un ou l'autre des deux termes de comparaison,

---

(164) Voir plus loin l'examen de cette difficulté. — Cfr. MEYERSON, *Identité et réalité*, pp. 300 et suiv. Paris, Alcan, 1912.

(165) « La tendance des théories de la jeune physique est d'identifier la matière et l'électricité ; l'idée fondamentale de Bersélius doit inévitablement être reprise. » — Cfr. URBAIN et SÉNÉCHAL, *Introduction à la chimie des complexes*, p. 99. Paris, Hermann, 1913.

hydrogène et chlore, on remarque de suite que les atomes de ces différentes espèces chimiques ont aussi des capacités bien diverses. L'oxygène, par exemple, n'est saturé qu'à la condition de s'unir à deux atomes d'hydrogène : H_2O. L'azote en réclame trois : NH_3. Le carbone en prend quatre : CH_4.

Cette propriété, que possède chacun des atomes d'un élément donné, de s'unir à 1, 2, 3... *n* atomes d'hydrogène ou de chlore, s'appelle l'*atomicité* ou la *valence* (166).

Pour avoir pénétré plus avant dans la constitution même de l'atome, la théorie électronique a essayé de nous donner une description détaillée du mécanisme de la valence. Comme il a été dit plus haut, l'atome est actuellement représenté comme un édifice formé d'un noyau central autour duquel gravitent un certain nombre d'électrons répartis en couches successives concentriques. C'est à la plus externe de ces couches que se rattachent les propriétés chimiques, notamment la valence.

Parmi les 92 éléments chimiques que comprend le tableau de Mendeléeff-Moseley, il en est qui ont, au point de vue de la valence, une importance capitale ; ce sont les gaz rares, inertes, dépourvus de toute affinité chimique : le néon, l'argon, le Krypton, le Xénon, l'émanation. D'après la théorie, la zone externe de ces éléments, la plus éloignée du noyau, comporte huit électrons, c'est à-dire le nombre maximum que pareille zone peut contenir. Ce nombre, croit-on, réalise aussi le maximum de stabilité qui caractérise ce gaz et nous donne en même temps la raison de leur inertie chimique.

Les autres éléments ont une tendance à réaliser ces édifices de stabilité maxima en s'entourant d'une zone de huit électrons. Les uns y arrivent en perdant des électrons, les autres en en capturant. Le sodium Na dont la formule de structure atomique (167) est 11/2. 8. 1 cède un électron au chlore Cl dont la formule est 17/2. 8. 7. Il en résulte deux atomes nouveaux électrisés, appelés ions, dont le premier a pour formule 11/2. 8 et l'autre 17/2. 8. 8. Les deux nouvelles formules, on le voit, répondent au type des gaz inertes.

En conséquence, les chimistes distinguent deux sortes de valences : les valences *négatives* par lesquelles un atome se combine à de l'hydrogène ou à tout autre élément positif, et les valences *positives* qui sont saturées par les valences négatives d'autres éléments.

A s'en tenir à cette conception, on peut dire que la valence trouve son expression dans le nombre d'électrons que l'atome d'un

---

(166) Cfr. RAMSAY, *La chimie moderne*, 1re partie, p. 71. Paris, Gauthier-Villars, 1909.

corps est apte à céder ou à capturer dans ses relations chimiques avec l'atome d'un autre élément.

Malgré le caractère attrayant de cette théorie, il n'est pas inutile cependant de faire remarquer avec plusieurs physiciens de valeur qu'elle consiste en des hypothèses hardies inventées pour suppléer aux données insuffisantes de l'expérience et que, par conséquent, elle ne peut être une solution définitive du délicat problème de la valence.

« Il ne faut pas oublier, écrit Berthoud, que nous sommes ici dans un domaine qui vient de s'ouvrir, et dans lequel l'insuffisance de notre connaissance de la mécanique de l'atome se fait vivement sentir. Les vérifications expérimentales sont difficiles, souvent impossibles, et les hypothèses ne peuvent avoir qu'un caractère provisoire » (168).

Telle est aussi l'opinion de Mauguin (169).

71. Caractères scientifiques de l'atomicité. — « La valence, écrit M. Bruylants, a fait l'objet ces dernières années, d'un grand nombre de travaux ; et elle est, à l'heure actuelle, une des notions les plus discutées en chimie. On a proposé des théories nombreuses dont les points de départ sont souvent très différents et même contradictoires » (170).

En fait, on compte actuellement plus de vingt théories dont chacune eut ses partisans et ses adversaires, bien que la théorie de la valence la plus accréditée demeure la théorie électronique ou corpusculaire (171).

---

(167) Le nombre à côté de la barre verticale représente le nombre atomique ou la charge positive totale du noyau ; à droite les nombres d'électrons des diverses couches. Il est clair que ces couches deviennent de plus en plus nombreuses à mesure que le nombre atomique augmente. — Ci-après se trouvent représentées les formules de structure atomique des gaz inertes.

Néon	Ne = 10/2.8
Argon	Ar = 18/2.8.8
Krypton	Kr = 30/2.8.18.8
Xénon	Xe = 54/2.8.18.18.8
Emanation	Em= 86/2.8.18.32.8

Cfr. BERTHOUD, *Les nouvelles conceptions de la matière et de l'atome*, pp. 290-308. Paris, Doin, 1923. — MAUGUIN, *La structure des cristaux*, pp. 192 et suiv. Paris, Blanchard, 1924.

(168) BERTHOUD, *Ouv. cit.*, p. 306.

(169) MAUGUIN, *Ouv. cit.*, p. 189.

(170) BRUYLANTS, *La valence chimique (Revue des Questions scientifiques*, janvier-avril 1912), p. 125. Cette étude est l'une des plus complètes qui aient été publiées sur cette matière. Elle comprend quatre articles : janvier 1912, pp. 125-163 ; avril 1912, pp. 511-539 ; juillet 1912, pp. 109-146 ; octobre 1912, pp. 535-563.

(171) Cfr. HERZ, *Les bases physico-chimiques de la chimie analytique*, pp. 48 et suiv. Paris, Gauthier-Villars, 1909. « Le nombre de valences que possède une particule réagissante, dit-il, est égal au nombre d'électrons que lui attribue la théorie de la dissociation électrolytique. Cette coïncidence

Quoi qu'il en soit de ces multiples essais d'explication, la valence présente certains caractères généralement admis par les chimistes. Résumons-les brièvement.

1° A parler rigoureusement, l'atomicité n'est pas une force, mais une simple mesure de l'équivalence des atomes, ou mieux, de leur capacité atomique (172).

Lorsque le chimiste affirme que le soufre est bivalent relativement à l'hydrogène, il n'émet aucun jugement sur l'intensité de l'action qui doit unir ces deux corps. Que cette activité soit énergique ou faible, la bivalence du soufre n'en sera pas moins sauvegardée, car elle signifie simplement que, dans les conditions normales, un atome de cet élément se trouve complètement satisfait dès qu'il se trouve uni à deux atomes d'hydrogène. C'est, en un mot, la mesure de ses exigences, de sa capacité de saturation.

2° Il en résulte que l'atomicité diffère essentiellement de l'affinité chimique.

Comme l'indique son synonyme « force élective », l'affinité désigne à la fois le principe régulateur des réactions chimiques et l'énergie qui s'y déploie. L'atomicité, au contraire, ne peut revendiquer aucun de ces titres. Bien plus, en général, les corps simples les plus actifs se distinguent par leur petite atomicité.

3° L'étude comparative des combinaisons établit d'une manière péremptoire que les corps n'épuisent pas toujours leur capacité de saturation.

Le phosphore, par exemple, qui peut se combiner facilement à cinq atomes de chlore, $PhCl_5$, se contente aussi parfois de trois ; le carbone, dans le gaz carbonique, est rivé à deux atomes d'oxygène, CO_2, tandis que dans l'oxyde de carbone, CO, il n'est uni qu'à un seul atome de ce corps. Les faits de ce genre sont même nombreux en chimie.

4° Enfin, bien que l'atomicité d'un élément ne jouisse pas d'une constance absolue, il serait faux d'en conclure qu'elle se trouve livrée aux caprices du hasard. Elle dépend de la nature des éléments auxquels on l'attribue, mais subit cependant, dans des limites déterminées, l'influence de causes extrinsèques, telles la pression, la température, la nature des autres éléments avec les-

---

entre l'atomicité et la charge électrique est tout à fait digne d'attention, car elle semble de nature à conduire à l'identification des valences et des électrons. » — LEMOINE, *L'évolution de la chimie physique (Revue des Questions scientifiques,* janvier 1913), p. 82. — C. MARIE, *Revue annuelle de chimie physique (Revue générale des Sciences,* 30 mai 1911), pp. 44 et suiv. — RAMSAY, *La chimie moderne,* 1re partie, pp. 55 et suiv. — KAUFFMANN, *Die Valenzlehre,* Stuttgart, 1911. — PERRIN, *Les atomes,* p. 64. Paris, Alcan, 1913.

(172) GAUTIER, *Cours de chimie,* 1er vol., p. 40. Paris, Savy, 1887.

quels ils se combinent (173). L'atomicité présente donc le caractère d'une propriété relativement constante et caractéristique de chaque corps (174).

« Le nombre de valences qu'un atome utilise dans l'assemblage moléculaire, écrit Nernst, de même que l'intensité avec laquelle ces valences maintiennent les liaisons, est variable entre certaines limites... ce qui ne diminue guère la grande importance de la théorie de la valence pour la systématique » (175).

Selon M. Meyerson, « l'atomicité ou la valence est une expression de l'affinité, la propriété la plus intime des atomes chimiques, celle par laquelle, en définitive, les autres doivent s'expliquer » (176).

Restreinte à ces principes généraux, la théorie de l'atomicité est à l'abri de toute critique, parce qu'elle est l'expression synthétique des données de l'expérience.

72. Le mécanisme n'explique pas la constance relative de l'atomicité. — Avant d'étudier les applications de la théorie, remarquons d'abord combien la *constance relative de l'atomicité* paraît peu conciliable avec les principes du mécanisme.

Pour ne citer qu'un exemple entre mille examinons la combinaison du chlore et du sodium (177).

---

(173) LOTHAR MEYER, *Les théories modernes de la chimie,* 1 vol., p. 436. Paris, G. Carré, 1889.

(174) BRUYLANTS, *La valence chimique (Revue des Questions scientifiques,* janvier-avril 1912), p. 127. « La notion de valence, dit-il, est moins ancienne (que la notion d'affinité). Et pourtant cette propriété élective, un des attributs les plus caractéristiques de l'atome, etc. »

(175) NERNST, *Traité de chimie générale,* 1re partie, p. 325. Paris, Hermann, 1911.

(176) MEYERSON, *Identité et réalité,* p. 262. Paris, Alcan, 1912.

(177) Les métaux alcalins sont tous monovalents dans la grande majorité des composés qu'ils forment. Les métaux alcalino-terreux, Ca, Sr, Ba, fonctionnent presque toujours comme des éléments bivalents. Il en est ainsi du Cd, du Zn et du Mg. Le Zn est même toujours bivalent dans tous les composés organo-zinciques. Le Bo agit généralement comme un élément trivalent. D'autres, tels le Hg et le Cu, forment deux sortes de combinaisons où ils sont monovalents ou bivalents. Le C, le Si et le Zr se montrent tétravalents dans la plupart de leurs combinaisons. L'As, le Sb, le Bi et le Ph, se comportent d'ordinaire comme des éléments tri ou pentavalents. Quelques-uns ont une valence plus variable, tels sont le S, le Se, le Te et le Mo. Notons enfin que le Cl, le Br et l'Io sont exclusivement monovalents vis-à-vis des éléments ou radicaux positifs, mais que, par rapport aux radicaux et éléments négatifs, leur valence est variable, bien qu'elle ne dépasse point 7 unités. Cfr. BRUYLANTS, *La valence chimique (Revue des Questions scientifiques,* juillet-octobre 1912).

L'étude de la valence dans les complexes minéraux, c'est-à-dire dans les composés riches en atomes et radicaux divers, présente des difficultés spéciales. Cette étude n'est encore qu'ébauchée. La théorie explicative la plus accréditée, qui est celle de Werner, maintient les variations de la valence dans des limites relativement étroites et bien déterminées. Cfr. URBAIN et SÉNÉCHAL, *Introduction à la chimie des complexes,* pp. 134 et suiv. Paris, Hermann, 1913.

Quelles que soient les circonstances de cette réaction, jamais le composé qui en résulte ne contient plus de deux atomes, comme le prouve la formule NaCl. Il existe donc entre les masses atomiques associées un rapport très simple et invariable.

Sans doute, il est aisé de dire avec les partisans du mécanisme, que l'atomicité relative de ces deux éléments ne comporte point d'autre rapport. C'est l'affirmation pure et simple du fait. Mais ce qu'il s'agit d'expliquer, c'est la raison de sa constance.

Or, à s'en référer uniquement aux mouvements atomiques des corps réagissants, non seulement on n'y découvre aucune cause de la stabilité du rapport, mais la possibilité d'une variation constante paraît évidente (178). A combien d'influences diverses, en effet, le chimiste ne peut-il pas les soumettre ?

Cette difficulté, Lothar Meyer lui-même la reconnaît : « Si maintenant, dit-il, nous cherchons l'explication de cette propriété étonnante, par suite de laquelle tel atome ne peut s'unir qu'à un seul autre, tandis que tel autre peut en réunir deux, tel autre trois, d'autres encore quatre, cinq, six, et lorsqu'il s'est lié ainsi il ne peut plus se lier à d'autres ; nous nous trouvons devant la porte à laquelle la chimie frappe depuis cent ans sans trouver de réponse » (179).

Tous les chimistes en conviennent volontiers, à l'heure présente, la question n'est guère plus avancée.

73. Deux applications de la conception mécanique. — Il nous est impossible de suivre dans le fouillis des faits toutes les infiltrations de ce système. Autant vaudrait reprendre par le détail la chimie entière. Nous nous bornerons à deux grandes classes de corps dont l'interprétation semble être spécialement inspirée par la conception mécanique de l'atomicité. Ce sont, d'une part, les

---

(178) A en croire M. Hartmann, notre conclusion ne serait pas à l'abri de toute critique. Sans doute, dit-il, les mouvements spécifiques des atomes éprouvent des variations incessantes, si, dans chaque collision, les atomes eux-mêmes se trouvent en contact immédiat. Mais cette supposition n'est point encore vérifiée, pour le motif que la causalité mécanique ne consiste pas nécessairement dans le choc. On peut admettre en effet que les forces interatomiques se réduisent à des états de dilatation du milieu et supprimer ainsi la rencontre immédiate des atomes. Cfr. Dr HARTMANN, *Philosophisches Jahrbuch*, 1904, S. 343.

Cette critique du Docteur allemand est une critique à côté. En supposant, comme il le dit lui-même, des *forces* mécaniques proprement dites, distinctes du mouvement, l'auteur se met en dehors de la question. Le mécanisme dont il s'agit ici, est le mécanisme pur qui n'admet d'autres réalités dans l'univers que la masse homogène et le mouvement local. En second lieu, l'hypothèse qui attribue toutes les activités atomiques aux variations d'équilibre du milieu est une hypothèse gratuite, hérissée de difficultés, que plusieurs physiciens de marque regardent comme manifestement insuffisante.

(179) LOTHAR MEYER, *Les théories modernes de la chimie*, p. 436. Paris, Carré, 1889.

composés à soudures multiples, de l'autre, les combinaisons de corps saturés.

Examinons la première de ces catégories.

74. Première application : la théorie des soudures. En quoi consiste-t-elle ? — Une des applications les plus importantes qui aient été faites du mécanisme à l'atomicité, se trouve formulée dans la théorie des soudures. La voici :

De l'avis de tous les chimistes, le carbone doit être regardé comme un élément tétravalent. Il forme en effet, avec l'hydrogène, une combinaison stable dont la formule est CH_4.

On remarque cependant que deux atomes de carbone ne peuvent s'unir à plus de six atomes d'hydrogène : C_2H_6. Quelle est la raison de ce fait ? Pourquoi n'en prennent-ils pas huit, puisque chaque atome de carbone est tétravalent ?

Cette circonstance est due, dit M. Kékulé, à la propriété qu'ont les atomes de carbone de se souder entre eux en échangeant une partie de leur atomicité. Une molécule n'est saturée, que si toutes les atomicités qui résident en elle sont satisfaites. A défaut d'hydrogène, les atomes de carbone se saturent mutuellement. De là, la formule $\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{matrix}$ (180).

Mais il arrive aussi que deux atomes de carbone se contentent de quatre atomes d'hydrogène. Exemple : C_2H_4. Dans ce cas, dit-on, les masses carbonées se rivent l'une à l'autre par une seconde soudure, à l'effet d'utiliser les deux atomicités devenues libres $\begin{matrix} CH_2 \\ \| \\ CH_2 \end{matrix}$.

Enfin, l'on rencontre même une combinaison hydrocarbonée où ces mêmes atomes sont encore plus éloignés de leur état de saturation. C'est l'acétylène, C_2H_2. En vertu du principe énoncé, pour remplacer les deux atomes d'hydrogène disparus, chaque carbone s'enchaîne à son congénère par une troisième soudure. D'où la formule $\begin{matrix} CH \\ \| \\ CH \end{matrix}$.

On le voit, dans les trois cas mentionnés, malgré l'insuffisance de la quantité d'hydrogène, les atomes de carbone tétravalents parviennent à satisfaire leur capacité de combinaison, en

---

(180) Le lien qui unit entre eux les deux atomes de carbone, est équivalent à deux atomicités, car si le premier atome perd une atomicité en agissant sur le second, celui-ci perd aussi une atomicité en réagissant sur le premier, en vertu du principe qui établit l'égalité entre l'action et la réaction.

réagissant l'un sur l'autre jusqu'à équisement des atomicités libres.

La nouvelle conception, dit Frankland, consiste à admettre que, dans tout élément polyatomique, deux des atomicités disponibles peuvent se saturer l'une l'autre ; elles deviennent ainsi latentes (181).

75. Conséquences philosophiques de la théorie des soudures. — Si, dans tout composé de ce genre, les atomes se trouvent enchaînés les uns aux autres par des liens plus ou moins nombreux, il est clair que chacun d'eux y conserve son être individuel, et que toute molécule est un agrégat. Nul ne dira qu'un morceau de fer et un fragment de cuivre soudés ensemble constituent une véritable individualité. L'unité essentielle disparaît ainsi de tout composé, fût-il même doué de vie (182).

En second lieu, le changement profond que subissent les propriétés, à chaque étape de l'évolution chimique de la matière, n'est plus qu'un phénomène de surface, puisqu'en dépit de ces modifications, les masses atomiques restent substantiellement les mêmes. Le lien naturel, qui unit la nature d'un être à ses qualités distinctives, ne se trouve-t-il pas du même coup brisé ? Ne semble-t-il pas que la matière nous apparaît alors comme un substrat homogène, indifférent par lui-même aux phénomènes qui s'y réalisent ?

Ces conséquences sont graves. Elles feront plus tard l'objet d'un examen spécial.

76. Les formules de structure répondent-elles à la réalité ? — En général, les hommes de science n'accordent plus à leurs théories une valeur ontologique (183). Ils y voient plutôt un moyen de classification des phénomènes, un symbole qui aide à comprendre les activités de la matière, leurs liens de dépendance, les conditions de leur production, le système de lois qui les régit, l'unité synthétique à laquelle on cherche à les ramener. Ces conceptions symboliques peuvent rendre de très grands services, et il serait insensé de condamner l'usage qu'en font les chimistes et les physiciens dans l'explication des propriétés corporelles.

Les formules de structure ont puissamment contribué à l'édification et au développement de la science chimique ; elles con-

---

(181) Cité par BERTHELOT, *Synthèse chimique*. p. 161.

(182) Plusieurs auteurs admettent cette conséquence pour le monde minéral, mais ils croient néanmoins pouvoir concilier l'unité réelle de l'être vivant avec la persistance actuelle des atomes qui le constituent. Nous examinerons plus tard cette opinion.

(183) LUCIEN POINCARÉ, *La physique moderne, son évolution*, p. 18. Paris, Flammarion, 1909. — H. POINCARÉ, *La valeur de la science*, p. 267. Paris, Flammarion, 1908. — *La science et l'hypothèse*, p. 190. Paris, Flammarion. — REY, *La théorie de la physique chez les physiciens contemporains*. Paris, Alcan, 1907. « Nul partisan des explications mécanistes, dit-il, ne leur attribue plus aujourd'hui une portée ontologique. » — *La philosophie moderne*, p. 167. Paris, Flammarion, 1911.

stituent un admirable instrument de classification et de découverte. Mais peut-on affirmer qu'elles sont la traduction fidèle de la réalité ? Nul chimiste, croyons-nous, n'oserait émettre pareille prétention. Il est indéniable, comme le dit Perrin, que « les 200.000 formules de constitution dont la chimie organique a tiré parti, donnent en définitive autant d'arguments en faveur de la notation atomique et de la théorie de la valence » (184). Il importe aussi de noter que moyennant certaines hypothèses sur les soudures simples, doubles et triples, ainsi que sur la combinaison du carbone et de l'hydrogène, Thomsen est parvenu à calculer, avec une approximation satisfaisante, la chaleur de combustion d'un bon nombre d'hydrocarbures (185). Néanmoins la théorie soulève encore bon nombre de difficultés. « Il serait téméraire, écrivent MM. Urbain et Sénéchal, de prétendre représenter la structure atomique réelle des molécules. Les formules de constitution ne schématisent que les propriétés d'un corps par rapport à certains réactifs » (186).

« On admet encore, en général, dit M. Bruylants, la théorie des doubles ou des triples soudures, mais de nombreux essais ont été faits pour substituer à l'ancienne théorie des vues nouvelles, mieux en accord avec l'ensemble des données expérimentales. On ne peut nier que la théorie des doubles et des triples soudures ait en soi quelque chose de contradictoire ; il semble logique d'admettre que les atomes de carbone, doublement ou triplement liés, doivent être moins réactionnels que des atomes de carbone qui ne sont unis que par une valence ; en réalité, c'est bien le contraire qui est la règle générale » (187).

M. Orékhoff émet la même opinion : « le pouvoir additif variable des doubles liaisons constitue une grosse difficulté dans la théorie classique... nous savons que la rupture de la molécule se fait toujours à l'endroit de la double liaison et que c'est cette dernière qui semble être le point le plus faible de l'édifice moléculaire... Il est évident que tous les reproches qu'on a pu faire au symbole de la double liaison s'appliquent également au symbole C = C... L'interprétation des corps non saturés a toujours été le point le plus faible de la théorie classique » (188).

Les critiques de M. Duhem sont beaucoup plus acerbes : « La

---

(184) Perrin, *Les atomes*, p. 50. Paris, Alcan, 1924. — Lespieau, *La molécule chimique*, p. 269, Paris, Alcan, 1920.

(185) Thomsen, *Thermochemische Untersuchungen*, Bd. IV. Leipzig, 1886. — *Zeitschrift f. physikalische Chemie*, I. 369. 1887.

(186) Urbain et Sénéchal, *Introduction à la chimie des complexes*, p. 14 et surtout p. 49. Paris, Hermann, 1913.

(187) Bruylants, *La valence chimique (Revue des Questions scientifiques*, octobre-juillet, 1912), p. 117.

(188) Orékhoff, *La théorie de l'affinité variable (Revue générale des sciences*, 25 mai, 1923), pp. 268 et suiv.

notation chimique moderne, dit-il, fondée sur la notion de valence... se montre admirable instrument de classification et de découvertes tant qu'on y cherche seulement une représentation figurée, un schéma des idées diverses qui ont trait à la substitution chimique ; mais lorsqu'on y cherche une image de l'agencement des atomes et de la structure des molécules, on ne rencontre plus de toutes parts qu'obscurité, incohérence et contradiction » (189).

Plusieurs chimistes, partisans d'ailleurs de la théorie, aiment à signaler le fait étrange que bien souvent le nombre de corps isomères prévu par la théorie n'a jamais été obtenu, tandis que d'autres isomères inexplicables par les formules de structure se réalisent. Aussi, dans maints cas, les formules de constitution ont dû être complétées par des formules topographiques (190). Or, les savants sont unanimes, croyons-nous, à ne voir, dans ces constructions ingénieuses, qu'un mode utile de représentation. « Ainsi est née, dit Le Bon, la stéréochimie qui, sans rien nous dire assurément de l'inaccessible architecture des atomes, permit de synthétiser certains faits. — Ces structures schématiques, d'ailleurs sans aucune parenté avec la réalité, finirent par se montrer elles-mêmes très insuffisantes » (191).

« Pour Hinrichsen, le grand nombre de combinaisons, où il faut admettre des valences libres, prouve qu'il doit en être ainsi dans les dérivés non saturés ». Pour lui, « non seulement les doubles et les triples soudures ne permettent pas d'expliquer un grand nombre de faits, mais elles donnent une image des plus fausses des rapports atomiques » (192).

On le voit, ces opinions sont bien divergentes ; à notre avis, la seule conclusion qu'il soit raisonnable d'en tirer, est qu'il appartient à la science de l'avenir de nous dire — si tant est qu'elle puisse atteindre pareil résultat — dans quelle mesure ces constructions ingénieuses répondent à la réalité.

77. Combinaison de molécules saturées. — Le platine a toutes les allures d'un métal tétravalent et le potassium celles d'un métal monovalent. Il en résulte, d'après la théorie des valences, que le tétrachlorure de platine PCl_4 et le chlorure de potassium KCl sont deux composés saturés, incapables de se combiner, par addition, à de nouvelles unités chimiques. Cependant, $PtCl_4$ s'unit

---

(189) Duhem, *La notion du mixte (Revue de philosophie*, juin 1909), p. 448.

(190) Nernst, *Traité de chimie générale*, première partie, pp. 336 et suiv. Paris, Hermann, 1911.

(191) Le Bon, *L'évolution de la matière*, p. 281. Paris, Flammarion, 1912.

(192) Hinrichsen, *Ueber den gegenwärtigen Stand der Valenzlehre*, S. 33 et suiv. *(Sammlung chemischer und chemischtechnischer Vorträge*, 1902).

facilement à deux molécules de KCl pour constituer un chloroplatinate de potassium $K_2P^tCl_6$ assez stable et bien défini.

Par quels liens ces deux corps sont-ils donc enchaînés ?

Les cas de ce genre sont fréquents ; les chimistes ont imaginé diverses hypothèses pour les expliquer.

Les uns, tel Werner (193), attribuent aux atomes des affinités principales et des affinités secondaires : les premières caractérisent la valence ordinaire ; les secondes s'exercent surtout dans les combinaisons entre molécules saturées. Le principe fondamental dont s'est inspiré cet auteur est que les formules chimiques doivent rappeler les réactions.

D'autres, notamment Spiegel (194), ont recours à des valences supplémentaires neutres, c'est-à-dire saturées par des électrons de signe contraire.

Ramsay (195) croit que dans les combinaisons, ce sont les électrons qui unissent les atomes entre eux. Les combinaisons moléculaires réalisées entre corps saturés s'expliqueraient par un échange d'électrons.

D'autres enfin admettent le fractionnement des valences. Un corps pourrait, dans certains cas, fractionner ses valences, les diviser en valences plus petites, afin de réunir dans une même molécule, un nombre d'atomes supérieur à celui que commande son pouvoir ordinaire de combinaison (196).

D'après la théorie moderne, « le pouvoir de combinaison chimique doit s'expliquer par la tendance inhérente que l'atome possède soit d'attirer à lui, soit d'abandonner, un ou plusieurs électrons » (197).

Quoi qu'il en soit de ces hypothèses, le mécanisme doit trouver dans le mouvement local des atomes, la raison explicative du fait signalé plus haut.

Citons, à titre d'exemple, l'interprétation donnée par Wurtz, l'un des coryphées de l'école mécanique.

---

(193) On trouvera cette théorie très clairement exposée dans le travail de BRUYLANTS, *La valence chimique (Revue des Questions scientifiques,* janvier-avril 1912), pp. 511-518. — Cette théorie est actuellement très en vogue pour l'explication des complexes. — Cfr. BOISSOUDY, *Les principes généraux de la classification chimique (Revue générale des Sciences,* 15 septembre 1921). — LESPIEAU, *La molécule chimique,* pp. 274-282. Paris, Alcan, 1920.

(194) SPIEGEL *Zeitschrift für anorganische Chemie,* B. 29, S. 365.

(195) RAMSAY, *La chimie moderne,* 1re partie, c. III, Dissociation électrique ou ionisation. Paris, Gauthier-Villars, 1909.

(196) SCHUTZENBERGER, *Chimie générale,* t. VII. Paris, Hachette, 1894. — Cfr. DE THIERRY, *Introduction à l'étude de la chimie,* p. 360. Paris, Masson, 1906.

(197) SODDY, *Le radium,* p. 308. Paris, Alcan, 1921. — Pour l'exposé de cette théorie, Cfr. MAUGUIN, *La structure des cristaux déterminée au moyen des rayons X,* pp. 189 et suiv. Paris, Blanchard, 1924.

Le carbonate calcique $CaCO_3$, corps très répandu dans la nature où il se présente sous les formes variées de craie, de marbre, de pierre, etc., résulte de la combinaison de deux corps : l'un, l'oxyde de calcium CaO, l'autre, le gaz carbonique CO_2. Dans ces deux molécules, les atomes ont atteint l'état de saturation complète : O = C = O + Ca = O ; le calcium et l'oxygène sont en effet bivalents, le carbone est tétravalent. Il ne reste donc plus aucune atomicité libre qui puisse river l'une à l'autre ces parties constitutives du nouvel édifice moléculaire, le carbonate calcique.

Comment donc se fera l'union ?

Arrivés dans une même sphère d'action, nous dit le célèbre chimiste, les deux corps se livrent à une lutte très vive au terme de laquelle se réalise l'arrangement suivant : $\begin{matrix} & & O & — & C & = & O \\ & & | & & | & & \\ Ca & — & O & & & & \end{matrix}$. L'oxygène uni au carbone, attiré vers le calcium, échange avec lui une de ses atomicités ; l'oxygène de CaO, n'étant plus uni au métal que par une seule atomicité, se lie par l'autre au carbone qui en a perdu une de son côté. La combinaison se ramène ainsi, non à un échange d'éléments, mais à un échange d'atomicités (198).

Cette lutte harmonieuse des atomes est certes de nature à nous donner une haute idée de l'ordre admirable qui régit les activités chimiques. Une seule chose étonne : c'est de retrouver cet ordre dans un jeu atomique où fait défaut tout principe régulateur.

L'enchaînement des masses réagissantes, dites-vous, s'opère par un simple changement d'atomicités. A moins de se payer de mots, il faut bien admettre que la seule réalité échangée, c'est le mouvement ; car il s'agit ici d'établir une liaison nouvelle entre les deux parties de l'édifice moléculaire.

Voilà donc deux molécules qui, poussées par le mouvement local, se rencontrent et donnent lieu à une multitude innombrable de chocs moléculaires avec une perte énorme de chaleur. Au sein de ces actions si violentes, que se passe-t-il ? Quatre atomes divisent leurs mouvements, et chacun d'eux en distribue régulièrement une partie sur l'atome voisin qu'il a mission d'enchaîner.

Bien mieux, un cinquième, dont le concours, d'après la for-

---

(198) WURTZ, *Dictionnaire de chimie*, tome I, p. 453. — L'exemple donné par Wurtz était, en fait, mal choisi : si le calcium est en général bivalent, il peut être aussi tétravalent comme le prouve son oxyde CaO_2. Cependant la tétravalence du Ca ne supprime pas la difficulté, puisque CO_2 est une molécule saturée, incapable d'addition.

Actuellement, la formation du carbonate de calcium à partir de Co_2 et de CaO s'explique par la théorie électronique, et notamment par le jeu des électrons de valence qui forment la couche la plus extérieure de l'atome. Cfr. MAUGUIN. *La structure des cristaux*, p. 196. Paris, Blanchard, 1924.

mule, n'est pas requis pour l'enchaînement des nouveaux associés, reste tout à fait étranger à la lutte.

Mille fois, pareille rencontre se renouvelle au milieu des circonstances les plus variées ; mille fois, en dépit de toutes les influences, les atomes remplissent fidèlement le rôle qui leur est assigné ! Par contre, dans les masses réagissantes, absence complète de tout principe interne d'orientation ; dans les tourbillons qui les agitent, réglés fatalement par le hasard des chocs et des impulsions, pas la moindre cause d'une direction privilégiée.

D'une part donc, constance assurée du phénomène ; de l'autre, instabilité absolue de sa prétendue cause, n'est-ce pas en deux mots le résumé de l'interprétation mécanique ? (199).

---

(199) Selon M. Hartmann, la constance des propriétés corporelles n'exclut pas une interprétation purement mécanique. Nous avons, dit-il, la preuve de ce fait dans un théorème démontré en 1867 par le physicien Helmholtz. Le voici : « Si les forces en activité dans un liquide parfait possèdent un potentiel, on peut attribuer aux tourbillons qui se produisent au sein de ce liquide, quelles que soient, d'ailleurs, leur forme, leur rapidité et la tension interne du milieu, les nombreuses propriétés suivantes : 1° Un volume constant. 2° Une composition constante, en ce sens qu'aucune particule de matière n'est enlevée ou ajoutée au tourbillon. 3° Une intensité invariable, en tant que le produit du diamètre du tourbillon par la rapidité de la rotation conserve la même grandeur : de ce produit dépend l'action du tourbillon sur son milieu. 4° Un enchaînement constant, en sorte qu'il n'y a jamais soit disparition, soit réalisation d'enchaînements nouveaux de tourbillons. » Cfr. *Philosophisches Jahrbuch*, S. 343, 3. H., 1904.

On le voit, les forces mises en jeu sont purement mécaniques. Et cependant, quelle étonnante constance dans les propriétés de ce liquide !

Nous sommes loin de partager les convictions de l'auteur, et pour cause. Quelles sont en effet les conditions théoriques dans lesquelles se trouve placé le liquide dont il s'agit ? Que suppose-t-on ? Un liquide parfait, c'est-à-dire un fluide d'une indifférence absolue à l'égard de sa forme, un fluide dans lequel il n'existe aucun frottement, mais qui est soumis à des forces conservatives dérivant d'une fonction de force uniforme. Or pareil liquide n'existe pas sur la terre. En fait, ces conditions théoriques ne sont jamais réalisées et les résultats obtenus par l'application des théorèmes d'Helmholtz sont des résultats plus ou moins approchés. De là à la réalité il y a de la marge.

En second lieu, dans les études cosmologiques, il ne s'agit nullement de déterminer de quelles propriétés d'origine purement mécanique peuvent jouir des types idéaux solides, liquides ou gazeux ; il est loisible au physicien de créer de toutes pièces ces êtres parfaits dans leur genre et d'en soumettre les caractères à des déterminations mathématiques. Le cosmologue, lui, considère le monde matériel tel qu'il se présente, il examine les corps avec leur état indéfiniment variable, leurs changements incessants de forme et de volume, les dépressions profondes ou l'étonnant accroissement que subissent leurs énergies au cours des réactions chimiques. Et il se demande d'où vient, qu'au cours ininterrompu de ces innombrables métamorphoses, réapparaissent toujours les mêmes types avec la totalité de leurs propriétés caractéristiques.

La constance des propriétés, dont il recherche la cause, n'a rien de commun avec cette constance particulière de certains tourbillons qui constituent un état liquide idéal. D'ailleurs, ces caractères attribués au liquide idéal disparaissent infailliblement, si le corps passe à l'état solide ou gazeux.

Au surplus, l'auteur en supposant l'existence de forces mécaniques

Au lieu d'imaginer cet échange d'atomicités, le mécanisme préfère-t-il souscrire à l'une ou à l'autre hypothèse mentionnée plus haut, l'interprétation du fait restera tout aussi mystérieuse. Qu'il s'agisse d'échange de mouvements, de fractionnement de mouvements, de mouvements supplémentaires neutralisés, etc... c'est toujours aux vicissitudes du mouvement local que le mécanisme doit faire appel pour justifier la constance du phénomène.

§ 4

La combinaison chimique

78. Description d'une combinaison chimique. — Voici un bocal d'un litre contenant $3^{gr},17$ d'un gaz jaune, le chlore qui le remplit complètement. On y jette $3^{gr},56$ d'antimoine en poudre fine. Une vive incandescence se produit, et si l'on bouche aussitôt hermétiquement le bocal, on constate que le gaz chlore et l'antimoine ont été l'un et l'autre remplacés par une matière blanche cristalline qui tapisse les parois du ballon où s'est fait le vide.

Cette matière fumante à l'air, décomposable par l'eau, transparente, solide, n'a plus aucun des caractères ni du chlore ni de l'antimoine métallique. Il s'est formé une *combinaison chimique* de ces deux corps, un chlorure d'antimoine, blanc, cristallin, butyreux, où toutes les propriétés des composants se trouvent remplacées par celles du composé nouveau (200).

79. Distinction entre la combinaison et le mélange. — La combinaison est du ressort exclusif de la chimie. Aussi, pour mieux en faire ressortir les caractères essentiels, les chimistes ont-ils l'habitude de l'opposer aux phénomènes physiques, notamment au *mélange*.

En triturant de la fleur de soufre avec de la limaille de fer, on obtient finalement une poussière jaune, apparemment homogène. La mixture paraît aussi intime que dans le cas précédent. Mais en l'examinant à l'aide d'une loupe assez puissante, on y reconnaît sans peine les particules grisâtres du fer disséminées parmi les particules jaunes du soufre. Il est même possible de les séparer au moyen d'un aimant qui s'emparera de la limaille de fer et laissera le soufre intact. Chaque corps a donc conservé ses propriétés distinctives ; l'homogénéité n'est qu'apparente. En un mot, il s'est produit un mélange.

Il existe aussi des mélanges beaucoup plus intimes ; tels sont,

---

se met en dehors de la question, car il ne s'agit dans notre hypothèse que du mouvement local auquel nous refusons toute causalité.

(200) GAUTIER, *Cours de chimie*, t. I, p. 19. Paris, Savy, 1892.

par exemple, le mélange des corps gazeux, hydrogène et oxygène ; le mélange de certains corps liquides, solubles l'un dans l'autre en toutes proportions.

Entre le mélange et la combinaison chimique, il existe une distinction profonde qui se reconnaît, en général, à un triple caractère :

1° Tout composé est caractérisé par la disparition sans retour de la plupart des propriétés physiques et chimiques des composants, et par l'apparition de propriétés nouvelles permanentes.

D'après Nernst, « c'est à l'action de cette force (affinité chimique) qu'il faut rapporter ce fait, que les propriétés des atomes sont si variables suivant l'édifice moléculaire auquel ils appartiennent et que les propriétés des combinaisons sont le plus souvent si différentes de celles des éléments libres » (201). Et il ajoute : « La formation des combinaisons chimiques est, en règle générale, accompagnée de changements de volume ou d'énergie bien plus considérables que la simple réunion en un mélange physique, et le travail extérieur que nous aurons à fournir pour séparer les composants, est bien plus grand, en général, dans le premier cas que dans le second » (202).

Il faut noter cependant que ces différences sont graduelles et qu'on trouve dans la nature tous les degrés intermédiaires.

2° Les combinaisons sont réglées par des lois de poids qui ne se vérifient, ni dans les actions physiques, ni dans le mélange (203). « L'immutabilité dans la proportion des composants, écrit Ramsay, est la caractéristique de la combinaison qu'accompagnent généralement l'uniformité dans les propriétés et l'homogénéité (204). « Nous pouvons, dit Nernst, faire varier dans de larges limites la compo-

---

(201) NERNST, *Traité de chimie générale*, 1re partie, p. 38. Paris, Hermann. 1911.

(202) NERNST, *op cit.*, p. 35.

(203) Les trois principales de ces lois sont les suivantes : *a)* Les corps se combinent en proportions déterminées et invariables. *b)* Quand deux corps se combinent en plusieurs proportions, la quantité de l'un d'eux étant supposée constante, il faut doubler, tripler, etc., celle de l'autre, pour passer du composé qui en renferme le moins à ceux qui en renferment davantage. *c)* Les chiffres qui expriment les rapports suivant lesquels un certain nombre de corps s'associent avec une quantité constante d'un même élément, expriment aussi comme tels, ou multipliés par un coefficient très simple, les rapports suivant lesquels ces mêmes corps s'associent entre eux.

Voir une *très belle étude* sur les procédés employés pour distinguer les mélanges des combinaisons, chez Lespieau, la molécule chimique, pp. 10 à 46. On soumet la substance à six procédés différents. Si ces procédés ne divisent pas la substance en deux parties hétérogènes, le corps est une combinaison. Voir aussi une très belle conception nouvelle de la *combinaison chimique*, chez Mauguin, L'étude des cristaux, p. 198.

(204) RAMSAY, *La chimie moderne*, 2me partie, p. 1. Paris, Gauthier-Villars, 1911.

sition des mélanges physiques, tandis qu'une combinaison chimique, quelle que soit la voie par laquelle on l'a obtenue, a une composition constante » (205). Pour lui, la loi de Dalton est la loi fondamentale de la chimie. Elle s'applique avec une rigueur absolue à toutes les unions d'éléments qui ont le caractère de combinaisons chimiques.

3° Enfin, un troisième signe révélateur des combinaisons nous est fourni par la quantité considérable de chaleur mise en liberté dans le fait de la réaction chimique (206).

80. Objection. — L'application de la thermodynamique à la chimie n'a-t-elle pas supprimé toute distinction réelle entre la combinaison et le mélange ? Les lois qui régissent les équilibres chimiques ne sont-elles pas identiques à celles des changements d'état physique ? (207).

Sur les frontières des états d'équilibre, le plus léger changement de température ou de pression suffit à renverser le sens d'une réaction chimique, comme aussi à faire passer un corps d'un état physique à un autre (208).

---

(205) NERNST, *op. cit.*, p. 36. — Il est parfois difficile de savoir si une matière est un mélange ou une combinaison, question spécialement importante quand il s'agit d'alliages métalliques. La détermination du diagramme de fusion des métaux qui forment l'alliage, permet de résoudre facilement cette question, car si l'on a affaire à une combinaison, un maximum de la courbe de fusion correspond à la composition indiquée par l'analyse. Cfr. HERZ, *Les bases physico-chimiques de la chimie analytique*, p. 96. Paris, Gauthier-Villars, 1909.

(206) En citant le dégagement de chaleur comme caractéristique des combinaisons chimiques, nous ne prétendons point que *toutes* les combinaisons dégagent plus de chaleur que *tous* les phénomènes physiques. Non seulement certains phénomènes physiques, tel le passage de l'eau, de l'état gazeux à l'état liquide, donnent lieu à une production de chaleur plus considérable que la combinaison de l'hydrogène et du soufre, mais il existe même des combinaisons endothermiques, c'est-à-dire des composés qui se font avec absorption de chaleur. Nul n'ignore pareils faits élémentaires. Mais d'accord avec la généralité des chimistes, nous disons que, d'ordinaire, et notamment dans les combinaisons spontanées, les phénomènes thermochimiques sont plus considérables que les phénomènes termophysiques.

Cette distinction suffit au point de vue où nous nous plaçons actuellement.

(207) DUHEM, *Thermodynamique et chimie*, n. 95. Paris, Hermann, 1902. — CHAROUSSET, *Le problème métaphysique du mixte (Revue de philosophie*, 1903), p. 546. — BOUTY, *La vérité scientifique*, p. 318. Paris, Flammarion 1908. « Les territoires jadis limitrophes de la chimie et de la physique, dit-il, tendent maintenant à se confondre. »

(208) L'eau peut exister à l'état solide, liquide et gazeux. D'après la loi des phases, les trois états ne peuvent se trouver en équilibre qu'à une pression et à une température bien déterminées. A la température de 0°0097 et sous la pression de $4^{mm}57$, la glace, l'eau liquide et la vapeur d'eau peuvent coexister. Mais un changement, même très léger, soit dans la température, soit dans la pression, fait disparaître l'un de ces états. Les mêmes règles s'appliquent aux systèmes chimiques. A telle température et à telle pression, il peut y avoir équilibre entre $CaCO$, et ses produits de

Les faits invoqués sont réels, mais à notre avis, la conclusion qu'on en tire est illogique. En d'autres termes, l'identité des lois thermodynamiques, qui régissent ces deux sortes de phénomènes, ne prouve nullement l'identité des phénomènes qui y sont soumis.

En effet, les choses les plus disparates, les corps simples, les composés, les êtres doués de vie ne sont-ils pas soumis aux mêmes lois de la physique et de la mécanique ? De ce que l'homme et le végétal se trouvent tous deux placés sous l'empire de la loi de la pesanteur, s'ensuit-il qu'ils partagent la même nature ?

En réalité, la loi de l'action des masses et la loi des phases s'étendent aux phénomènes chimiques et physiques, mais les effets produits sous le régime de ces lois conservent leurs caractères distinctifs : d'une part, c'est le passage d'un état à un autre, par exemple de l'état solide à l'état gazeux ; de l'autre, c'est la métamorphose d'éléments libres en un composé nouveau bien défini, ou l'inverse. En un mot, les lois des changements sont les mêmes, mais les changements diffèrent profondément sous le rapport de leur intensité et de leurs caractères (209).

D'aucuns s'étonnent peut-être de ce que, dans ces états d'équilibre, la combinaison et la décomposition des mêmes éléments se réalisent avec la même facilité.

La difficulté semble s'évanouir si l'on se rappelle que l'affinité est une force essentiellement relative et dépendante de certaines conditions de pression et de température. On comprend dès lors, qu'il doit y avoir de ces états limités où les phénomènes inverses de combinaison et de décomposition sont possibles, et qu'il suffit d'un petit changement de température ou de pression, pour briser l'équilibre et favoriser l'une des réactions au détriment de l'autre.

81. Premier signe de la combinaison. Les propriétés nouvelles du composé. — Quant à la nature de ce changement, tous les partisans du mécanisme ne partagent pas la même opinion.

1re opinion. — Selon les uns, les atomes conserveraient leurs propriétés intactes au sein du composé.

Toute combinaison, dit-on, suppose un équilibre interatomique,

---

décomposition CaO et CO_2. — Si on augmente, par exemple, la pression, une certaine quantité de $CaCO_3$ se refait aux dépens de CaO et de CO_2.

(209) URBAIN et SÉNÉCHAL, *La chimie des complexes*. Paris, Hermann, 1913. « Cette manière de voir, disent ces auteurs, ramène à une seule idée les différences d'état physique, de propriétés cristallographiques et les phénomènes distingués sous le nom de polymérie, etc... Entre le benzène et l'acétylène, la différence cesse d'être plus essentielle qu'entre la glace et l'eau.

Les chimistes organiciens opposent à cette manière de voir leur système de formules structurales. Le désaccord paraît profond ; il n'est que verbal : les thermodynamiciens considèrent des « systèmes chimiques » alors que les organiciens considèrent exclusivement des « espèces définies ».

Toute discussion cesse si l'on veut reconnaître le bien fondé de ces deux points de vue dont la valeur scientifique est incontestable. » p. 47.

une coordination des mouvements. Or, une fois enlacés, ces mouvements élémentaires ne peuvent plus se manifester de la même manière qu'à l'état de liberté ; ils produisent sur nos organes une impression nouvelle qui nous fait conclure à un changement interne et profond. En réalité, ils s'y trouvent inchangés.

Dans son traité de physique, Daguin lui-même s'est fait l'écho de cette opinion : « La constance dans les propriétés des produits, quels que soient les moyens employés pour les obtenir, les lois mêmes qui régissent les combinaisons, l'identité de propriétés des substances que l'on sépare des corps composés formés, quand on en fait l'analyse, montrent, dit-il, que dans ces migrations, les parties premières des corps n'ont pas subi d'altérations. Autrement, les résultats différeraient... et les substances sorties de ces réactions variées ne présenteraient plus les mêmes propriétés » (210).

Que penser de cette opinion ? — Quelle que soit la valeur scientifique de la théorie nouvelle, on ne peut méconnaître que le témoignage des sens lui est peu favorable. Qui de nous en effet se résignerait à ne voir dans ce sel blanc, appelé vulgairement sel de cuisine, qu'un simple enchevêtrement d'atomes inchangés de chlore et de sodium, l'un, corps gazeux, à odeur suffocante et d'une couleur verdâtre, l'autre, métal mou et d'une teinte argentée ? « Il est manifeste, écrit Nernst, que lorsqu'un métal réagit sur un métalloïde, il se forme quelque chose de nouveau et de particulier. Une substance telle que le chlorure de sodium présente les plus grandes différences avec ses composants, parce que des forces chimiques particulièrement puissantes agissent dans la formation de ce corps (211).

Les caractères individuels des atomes, dit-on, persistent dans la synthèse nouvelle. Pourquoi donc ne se manifestent-ils pas ? Car si les mouvements ne sont point détruits mais simplement enchevêtrés, ils y conservent leur réalité totale et devraient, semble-t-il, produire dans nos organes les impressions qui leur correspondent (212).

A défaut de preuve contraire, nous serions donc en droit d'ajouter foi à cet éclatant témoignage et de rejeter l'hypothèse qui le contredit.

Toutefois, dans le domaine des perceptions sensibles si fécond en illusions, il est toujours aisé à nos adversaires d'invoquer la

---

(210) *Traité de physique*, t. I, p. 47.

(211) NERNST, *Traité de chimie générale*, 1re part., p. 461. Paris, Hermann, 1911.

(212) Cfr. Dr A. MICHELITSCH, *Atomismus, Hylemorphismus und Naturwissenschaft*, S. 10, n. 30. Graz, 1897. — SCHNEID, *Naturphilosophie*, dritte Auflage, S. 207. Paderborn, 1899.

possibilité d'une erreur des sens. Un appel direct aux faits scientifiques communément admis sera, croyons-nous, plus décisif.

Parmi ses plus belles conquêtes, la science moderne place, avec raison, le principe de la conservation de l'énergie. Dépouillé de son enveloppe technique, il peut s'exprimer comme suit : Malgré les transformations de l'univers matériel, la somme globale des énergies reste constamment la même, de sorte que tout gain d'énergie réalisé par un corps quelconque accuse toujours une perte correspondante subie par un autre.

Or, l'expérience quotidienne le prouve, les combinaisons s'accompagnent d'un dégagement parfois énorme de chaleur, d'électricité, de lumière, d'énergie chimique. Le milieu ambiant en profite, il s'échauffe, s'éclaire, s'électrise.

D'où vient cette énergie ? Evidemment, des masses combinées, c'est-à-dire des atomes qui en sont les seuls constitutifs. L'énorme quantité de mouvements dégagés par la réaction mesure donc la perte réelle éprouvée par le composé nouveau. Nier cette déperdition serait admettre une production d'énergie non compensée par une perte équivalente.

A maintenir la conservation intégrale des propriétés élémentaires au sein du composé, cachée sous le voile d'un enchevêtrement de mouvements atomiques, on arrive donc à la négation formelle d'un principe dont le mécanisme lui-même proclame l'inébranlable certitude.

Difficulté. Distinction entre mouvements moléculaires et mouvements atomiques. — En général, les réactions chimiques se réalisent avec une certaine perte d'énergie. Mais qu'est-ce qui prouve que cette dispersion de force se fait toujours aux dépens des mouvements atomiques ?

Les atomes d'un corps, on le sait, n'existent point à l'état de petites individualités isolées. Ils tendent naturellement à se grouper, à se réunir en molécules composées de deux, de quatre ou même d'un plus grand nombre de congénères.

Ces *molécules* primitives, d'ailleurs très stables, possèdent un mouvement d'ensemble, propre, distinct de celui des atomes. Lorsque deux corps donnés, par exemple, le chlore et l'hydrogène, entrent en combinaison, leurs molécules s'agitent, s'entrechoquent, se désagrègent en cédant au milieu ambiant une partie plus ou moins considérable de leurs mouvements respectifs. Les *atomes*, au contraire, mis en liberté avec leurs mouvements spécifiques et inaliénables, se rivent les uns aux autres et transportent ainsi dans le composé nouveau la totalité de leurs caractères individuels.

Le principe de la conservation de l'énergie ne se trouve-t-il

pas de la sorte sauvegardé, sans que les mouvements atomiques subissent la moindre altération ?

Solution de cette difficulté. — A entendre cette distinction subtile, ne croirait-on pas qu'aux yeux des mécanistes, le mouvement joue le rôle d'une petite entité mobile, toujours en course autour de la molécule, prête à subir les assauts de l'extérieur, et à protéger les évolutions tranquilles des atomes ?

Trop poétique, cette représentation imaginative. Le mouvement moléculaire n'a pas de siège en dehors de la molécule. Il réside tout entier en elle, ou mieux, il n'est que le déplacement des atomes groupés. Partant, pas de chocs intramoléculaires qui n'atteignent du même coup les masses atomiques. Quels seraient en effet les sujets récepteurs des chocs, si on soustrait à leur action les atomes constitutifs des molécules ?

D'ailleurs, ici encore les faits eux-mêmes contredisent l'hypothèse.

A l'aide d'une chaleur suffisante, on parvient à triompher des groupements moléculaires et à mettre en liberté les éléments qu'ils contiennent. C'est le cas pour le mercure, le zinc, le cadmium, l'iode, le chlore et bon nombre d'autres corps. Les combinaisons devenant alors interatomiques, les dégagements de chaleur, d'électricité, etc. ne peuvent évidemment plus se produire qu'au détriment des atomes eux-mêmes, puisqu'eux seuls interviennent comme facteurs immédiats de la réaction.

2me opinion. — Plus respectueux de l'expérience, plusieurs mécanistes aiment à reconnaître que les unions chimiques entraînent avec elles des changements profonds dans les propriétés corporelles.

Nous sommes heureux d'acter cette concession. Mais l'erreur a sa logique, et nous le montrerons bientôt, pour, avoir reconnu ce fait, la théorie mécanique se trouve dans l'impossibilité de concilier avec ses principes généraux, la décomposition régulière des corps, ainsi que la réintégration des éléments dans leur état naturel.

82. Deuxième signe de la combinaison. Les phénomènes thermiques. Explication mécanique de ces phénomènes. — Plusieurs chimistes attribuent le dégagement de chaleur au frottement qu'exerceraient les molécules réagissantes les unes sur les autres pendant toute la durée de l'action chimique.

Cette explication ne plaît pas au P. Secchi. « Le frottement, dit-il, étant simplement une partie du travail moteur qui, dans nos machines, devient travail résistant, nécessite constamment l'intervention d'une cause première ; dans le cas particulier des actions chimiques, le frottement ne peut être regardé comme principe initial du mouvement, puisque son existence suppose l'action préalable

d'une force. Une semblable hypothèse nous enfermerait dans un cercle vicieux » (213).

Selon lui, la vraie cause réside dans l'intensité des chocs intramoléculaires et interatomiques, ainsi que dans les changements qui se produisent, au moment de la combinaison, dans les atmosphères éthérées des atomes élémentaires.

C'est aussi la pensée de Berthelot. « En résumé, écrit-il, les phénomènes thermochimiques peuvent être attribués aux transformations de mouvement, aux changements d'arrangement relatif, enfin aux pertes de force vive qui ont lieu au moment où les molécules hétérogènes se précipitent les unes sur les autres pour former les composés nouveaux » (214).

Intensité des chocs et rupture de l'équilibre, voilà donc les deux causes mécaniques génératrices de la chaleur (215).

Examinons cette interprétation.

Deux caractères distinguent les phénomènes thermiques d'origine chimique : la constance relative et la spécificité. C'est à ce double point de vue que se fera le contrôle.

83. Le mécanisme est incapable de rendre compte de la constance et de la spécificité des phénomèmes thermochimiques. — Le phénomène thermique qui accompagne une combinaison peut être influencé par différentes causes. D'abord, l'expérience le prouve, les variétés allotropiques d'un corps simple ne dégagent pas la même quantité de chaleur lorsqu'elles se combinent avec un même élément réactionnel. On connaît, par exemple, sept variétés d'argent métallique, qui toutes dégagent une quantité de chaleur différente dans leur combinaison avec l'oxygène.

La température peut avoir aussi sa part d'influence sur la grandeur du phénomène thermique. Si les générateurs du composé et le composé lui-même sont solides, cette influence est souvent nulle, car la chaleur spécifique des éléments, c'est-à-dire la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température d'un corps, reste, d'ordinaire, la même dans le composé.

---

(213) P. Secchi, *L'unité des forces physiques*, c. XIV.

(214) Berthelot, *Essai de mécanique chimique*, p. xxvii. Paris, Dunod, 1879.

(215) La nouvelle conception électronique de la combinaison chimique n'apporte aucun changement essentiel à l'interprétation mécanique. Comme le dit M. Rey : « Le mouvement, le déplacement dans l'espace reste l'élément figuratif unique de la théorie physique ». Cfr. *La théorie de la physique*, p. 47, Paris, Alcan, 1907. Que les électrons soient les agents principaux de la combinaison,, il demeure vrai qu'en théorie mécanique, c'est par leurs mouvements qu'ils rempliront leur rôle. La physique électronique « est une théorie mécanique, écrit Lippmann... mais c'est une mécanique généralisée, car l'inertie et la force vive n'y sont plus liées à des masses pondérables, et la mécanique des corps pondérables n'en serait qu'un cas particulier. » Cfr. Righi, *Théorie moderne des phénomènes physiques* (préface de Lippmann, p. 4).

Il en est autrement si des liquides et des gaz entrent en réaction ; car il existe une différence considérable entre les chaleurs spécifiques des substances réagissantes et celles des substances formées.

Mais, si l'on tient compte de ces facteurs d'ordre physique et si l'on n'examine que la quantité de chaleur dégagée par l'action chimique, on peut dire que cette quantité est constante et constitue une des caractéristiques de chaque combinaison (216).

Ainsi l'hydrogène et le chlore se combinent entre eux, soit sous l'excitation de la lumière, soit sous l'influence de l'étincelle électrique, soit sous l'excitation de la force calorifique.

Malgré la diversité de ces agents physiques, $35^{gr},5$ de chlore, en s'unissant à 1^{gr} d'hydrogène, mettent en liberté 22 calories.

Rien de plus régulier ni de plus précis que ce phénomène. Il commence à un moment donné, se déploie suivant une loi qui ne relève que des masses réagissantes, se termine après un travail accompli parfaitement déterminé.

Voici, par exemple, un bocal renfermant les deux gaz mentionnés ; j'y plonge un thermomètre, et soumets le tout à l'action d'une chaleur modérée. Que constatons-nous ? L'ascension de la colonne mercurielle répond fidèlement à l'intensité progressive du calorique communiqué, aussi longtemps que l'action chimique tarde à se produire. Celle-ci vient-elle à se déployer, le thermomètre monte rapidement, même si l'apport de chaleur extérieure ne varie pas, et les calculs nous montrent que 22 calories se sont dégagées.

Voilà le fait ; est-il conciliable avec les principes du mécanisme ?

Evidemment non. Dès là qu'on identifie toutes les énergies chimiques avec le mouvement local pur et simple, la constance du phénomène, son indépendance vis-à-vis des énergies étrangères qui le provoquent, disparaissent fatalement.

Que requièrent, en effet, ces deux caractères distinctifs des phénomènes thermochimiques ?

Une cause stable, permanente, toujours identique à elle-même, une cause enfin qui réside dans la nature des masses réagissantes. La mise en activité de cette cause foncière peut bien dépendre de certaines circonstances que viennent réaliser les agents physiques, telles la chaleur, l'électricité ou la lumière. Encore faut-il que le

---

(216) Pour que le phénomène thermique d'une combinaison soit constant, il est clair que les substances réagissantes et le produit de la réaction doivent être considérés dans un même état physique bien déterminé, car tout changement d'état physique contribue à augmenter ou à diminuer le phénomène thermique. La formation de H_2O, à l'état gazeux, dégage 58 calories ; celle de H_2O à l'état liquide, 68. La différence de ces deux quantités de chaleur provient uniquement du passage de l'état gazeux à l'état liquide.

déploiement de son énergie trouve sa mesure dans les aptitudes naturelles et internes des substances réactionnelles.

Or, dans la théorie mécanique, la cause est extérieure à l'atome et essentiellement variable ; c'est le mouvement communiqué. Comme tout mouvement, les énergies thermochimiques devront donc subir l'influence directe des agents physiques, se modifier au gré de leur action, sans qu'il soit possible de tracer une ligne de démarcation, dans la production globale de chaleur, entre le phénomène d'origine chimique et le phénomène effectué par des causes étrangères.

84. Troisième signe de la combinaison. Les lois de poids. — La plupart des chimistes regardent l'indivisibilité chimique des atomes comme le véritable fondement des lois pondérales. « Si les corps sont indéfiniment divisibles, dit un éminent chimiste, on ne conçoit pas comment il peut se faire qu'ils ne se combinent pas suivant toute proportion de poids, ou toute proportion de volume » (217).

D'ailleurs, pour Dalton lui-même, le restaurateur de l'atomisme hellénique, la découverte de la loi « des proportions multiples » ne fut-elle pas le trait de lumière qui le fit adhérer sans retour à la théorie nouvelle ?

En général, tel est aussi l'avis des mécanistes.

Certes, il n'entre pas dans notre pensée de vouloir amoindrir le mérite de ces travailleurs de marque, qui, au prix de longues et difficiles recherches, ont su découvrir dans le fouillis des faits les admirables lois qui régissent les activités chimiques de la matière. Tout en rendant hommage à ces pionniers de la science, on irait cependant à l'encontre des faits si on affirmait que le mécanisme peut revendiquer une part quelconque de ces précieuses découvertes.

Les lois pondérales sont en effet le fruit et l'expression de l'expérience. Comme telles, elles ne relèvent d'aucune théorie philosophique ou scientifique. Et si l'hypothèse des atomes paraît, au moins selon les savants modernes, nous indiquer la cause originelle explicative de ces lois, par contre, le dogme mécaniste de l'homogénéité de la matière ne jette aucune lumière sur le problème à résoudre.

Qu'importe en effet la *nature* de l'atome ! Pourvu qu'il existe, il jouera le rôle qu'on lui assigne.

Mais ce qui paraît étonnant, c'est l'assurance avec laquelle les tenants du mécanisme recourent à l'indivisibilité atomique comme à un postulat évident, alors que de tous les faits chimiques, nul, peut-être, n'est plus ouvertement opposé à leurs principes. Nous

(217) HENRY, *Précis de chimie générale*, Louvain. — VÉRONNET, *L'atome nécessaire (Revue de philosophie*, octobre 1909), pp. 384 et suiv.

l'avons établi plus haut, placer dans une matière homogène, animée d'un mouvement variable, le principe de la diversité constante des poids atomiques, c'est supprimer le lien essentiel de proportionnalité qui rattache un effet à sa cause.

En résumé, des trois caractères distinctifs de la combinaison chimique, il n'en est pas un seul qui ne crée à la théorie mécanique d'insurmontables difficultés.

§ 5

La récurrence des espèces chimiques

85. Exposé du fait. — Le monde inorganique nous présente un dernier fait qui, banal en apparence, n'en a pas moins captivé de tout temps l'attention de l'homme de science et du philosophe : c'est la récurrence invariable des mêmes espèces minérales au sein de l'évolution cosmique.

Dans la nature, se réalisent sans cesse des combinaisons nombreuses que le chimiste renouvelle pour la plupart à son gré dans son laboratoire.

La matière élémentaire, emportée par le tourbillon des activités chimiques, passe par des milliers de composés où elle revêt chaque fois des propriétés nouvelles. Ces édifices moléculaires sont à peine formés que déjà la nature s'en empare, les désagrège, soit pour remettre leurs éléments en liberté, soit pour en faire des synthèses plus complexes. Néanmoins, malgré ces métamorphoses profondes où les caractères distinctifs des corps semblent être le jouet des forces matérielles, toujours se manifestent à nos regards les mêmes espèces chimiques simples ou composées, ornées de cet ensemble de propriétés que le chimiste et le physicien leur ont un jour reconnues.

86. Quelles sont les raisons explicatives de ce fait ? — Bien qu'il soit d'un haut intérêt de scruter la nature des substances matérielles, et de rechercher s'il n'existe point, dans ce fond intime, un principe caché qui règle les activités corporelles, bornons-nous actuellement à déterminer les conditions immédiates et manifestes auxquelles ce fait général semble soumis.

Si les affinités électives se trouvaient livrées aux caprices du hasard ou des circonstances contingentes des réactions chimiques, si même l'homme de science pouvait les modifier à son gré, nous verrions se réaliser à chaque instant les associations les plus bizarres, les plus désordonnées ; les prévisions du savant perdraient cette assurance qui lui permet de se diriger si facilement

dans le dédale des activités corporelles. C'en serait fait de la science ainsi que du cours admirable de la nature.

De même, supprimez les lois de poids si fixes, si invariables, que de milliers d'espèces nouvelles viendront se substituer aux espèces actuelles et transformer par leur présence et leurs actions le régime de notre globe ! Tout changement, en effet, dans les rapports pondéraux des masses réactionnelles se répercute fatalement dans les caractères spécifiques de la synthèse.

Le chlorure cuivreux CuCl, constitué d'un atome de chlore et d'un atome de cuivre, est un beau corps blanc, peu énergique, remarquable par son insolubilité dans l'eau. Ajoutez-y un seul atome de chlore, vous le transformerez en un sel vert, le chlorure cuivrique $CuCl_2$ de puissante énergie chimique, soluble dans l'eau en grande quantité.

Stabilité des lois de poids, constance de l'affinité, voilà bien deux conditions indispensables au maintien de l'ordre universel.

Il en est une troisième non moins importante.

Tout composé chimique a ses propriétés distinctives qui en font une véritable individualité. En concourant à sa formation, les éléments se sont donc dépouillés de leurs caractères connaturels pour revêtir, en commun, un ensemble de qualités nouvelles, propres à l'état d'union. D'autre part, ils ont cependant conservé l'aptitude à reprendre chacun, sous l'influence d'une même cause extrinsèque, leurs propriétés primitives.

Il ressort de ce double fait, que dans le composé même doit résider une cause qui puisse diviser l'action extérieure et différencier son effet ; sinon, la réapparition simultanée des éléments composants resterait inexpliquée ou même inexplicable.

87. L'explication mécanique satisfait-elle à ces conditions ? — Nous ne reviendrons plus sur les lois de poids ni sur l'affinité chimique : la critique que nous avons faite de l'interprétation mécanique de ces lois naturelles, nous a révélé suffisamment la faiblesse de la théorie.

Mais la troisième condition mérite une attention spéciale.

A première vue, on serait tenté de croire que nul système ne peut, mieux que le mécanisme, nous donner une explication simple et adéquate de la reviviscence des éléments dans le fait de la décomposition des corps. Les parties constitutives de l'édifice moléculaire du composé y conservent leur être individuel ; leurs mouvements mêmes ne sont point altérés, mais simplement enchevêtrés. Coupez ce nœud gordien, brisez ces liens ; qu'y a-t-il d'étonnant à ce que chacune de ces parties reprenne sa liberté et son état primitif ?

Apparemment très simple, cette explication se complique de

difficultés bien sérieuses dès qu'on veut la mettre en harmonie avec l'ensemble des faits.

La question soulevée laisse le champ libre à deux hypothèses : ou bien les atomes restent inchangés au sein du composé, — c'est l'opinion favorite d'un grand nombre de mécanistes, — ou bien ils y reçoivent des propriétés nouvelles (218).

Le mécanisme choisit-il la première, il se voit obligé de contredire au principe de la conservation de l'énergie (219), et de contester la valeur du témoignage des sens qui nous attestent à l'unanimité les changements profonds apportés par la combinaison dans les éléments associés.

Veut-il accepter la seconde, il se met dans l'impossibilité de justifier le fait en question.

D'une part, en effet, les atomes combinés se trouvent dépouillés dans la synthèse de leurs propriétés natives ou, du moins, ils y ont subi des altérations profondes ; de l'autre, à raison même de leur identité essentielle, nous ne pouvons leur accorder aucune aptitude spéciale à recevoir telles ou telles propriétés déterminées ; toute exigence spécifique étant incompatible avec l'homogénéité des masses atomiques. Il n'existe donc aucune raison pour que l'agent extrinsèque qui vient enlever à un composé un ou plusieurs de ses constitutifs pour les entraîner dans sa sphère d'action, communique toujours aux autres leur mouvement primordial. Dès lors, les atomes, une fois dégagés de leurs liens, devraient nous apparaître avec des caractères toujours nouveaux, toujours en rapport avec la cause qui leur a rendu la liberté.

« On se demande, dit avec beaucoup d'à-propos M. Domet de Vorges, comment il se fait que certains tourbillons qui déterminent la nature des corps simples, soient tellement permanents qu'ils se retrouvent toujours les mêmes, après s'être mêlés et enchevêtrés les uns dans les autres. La fixité des essences matérielles semble bien peu compatible avec cette variabilité et cette communicabilité qui est le caractère propre du mouvement local » (220).

88 **Conclusion générale.** — De tous les domaines particuliers des sciences naturelles, nul ne semblait plus favorable que la chimie à asseoir définitivement les principes du mécanisme. C'est là, du moins l'affirmait-on, que ce grand système devait puiser les preuves péremptoires de sa fécondité et de son caractère vraiment scientifique.

---

(218) Pour ne rien préjuger de la nature des corps, nous employons ici le terme *propriétés nouvelles* dans le sens actuellement reçu par les chimistes.

(219) Voir plus haut, n. 81, pp. 107-110.

(220) Domet de Vorges, *La métaphysique en présence des sciences*, p. 119

Brillantes furent ses promesses, mais plus éclatante encore est la déception qu'il nous a laissée en prenant contact de la réalité.

A titre de *théorie cosmologique*, le mécanisme n'avait point à s'occuper de la partie expérimentale de la chimie, c'est-à-dire de cet ensemble de faits et de lois dont la découverte et la preuve sont le fruit exclusif de l'expérimentation. Il avait simplement pour mission de pénétrer l'au-delà de l'expérience, d'indiquer aux hommes de science les raisons dernières de l'ordre chimique.

Or, de ce point de vue, son échec fut complet.

Les trois propriétés fondamentales des atomes : le poids spécifique, l'affinité élective et l'atomicité d'où dépend la nature de tout composé, les caractères distinctifs de la combinaison et la perpétuité des espèces au sein de l'évolution rythmique de la matière, tous ces grands faits qui résument la chimie entière, sont restés inconciliables avec les principes essentiels du système.

Quelle en est la cause ?

Il suffit de jeter un regard superficiel sur les phénomènes chimiques pour y découvrir deux caractères saillants, indéniables : la *spécificité* et la *constance*. Tous ont leur physionomie propre, irréductible. Tous naissent, disparaissent, se succèdent enfin les uns aux autres suivant un ordre harmonieux que rien ne peut troubler. Il fallait donc, semble-t-il, pour les expliquer, supposer dans les êtres un principe foncier de spécification qui fût à la fois un principe régulateur de leurs activités, une connexion nécessaire et naturelle entre le fonds substantiel de chaque être et l'ensemble de ses propriétés distinctives. Comme le dit M. Rivaud, « pour le cosmos, c'est surtout l'ordre et la régularité du devenir qu'il s'agit d'expliquer. Et la puissance de vie, la puissance féconde qui en rend compte, c'est la nature. Avec la notion de nature, l'idée d'un devenir ordonné prend une apparence visible et saisissable » (221).

Le mécanisme fit abstraction de ce double aspect qui signale les phénomènes matériels, pour n'en considérer que l'aspect purement *quantitatif* et *individuel*. De là, la réduction de la nature à la masse homogène et à l'instable mouvement local.

Il est vrai que toute activité chimique s'accompagne d'un mouvement proportionnel à l'intensité de l'action, et que de ce chef, on était en droit de rechercher en lui la mesure du phénomène produit. Aussi, si les partisans du système n'avaient eu d'autre prétention que de nous fournir une mesure ou évaluation mécanique de chaque fait individuel, ils seraient à l'abri de tout reproche. La justesse de ces déterminations est même une des causes qui ont le plus accrédité cette opinion dans l'esprit des savants.

---

(221) RIVAUD, *Le problème du devenir et la notion de la matière*, p. 404. Paris, Alcan, 1906.

Mais ce n'était là qu'une vue partielle, peut-être la moins importante des phénomènes chimiques. L'aspect qualitatif, la constance du phénomène, les lois immuables qui le régissent, les liaisons fixes et déterminées qui l'enchaînent aux antécédents et aux conséquents, tout ce complexus de corconstances, que l'interprétation mécanique ne pouvait atteindre, devaient être forcément pour le système une pierre d'achoppement, une preuve de son insuffisance.

C'est dans cet exclusivisme scientifique qu'il faut placer, croyons-nous, la raison foncière de sa faiblesse.

Comme le dit avec à-propos M. Mach : « La mécanique ne saisit pas la *base* de l'univers ; elle n'en saisit pas davantage une *partie* ; elle en expose simplement un *aspect* » (222).

---

(222) MACH, *La mécanique*, p. 478. Paris, Hermann, 1904. — Telle est aussi la pensée que M. Duhem a souvent développée, notamment dans son bel ouvrage : *L'évolution de la mécanique*, Paris, Alcan, 1903. — *L'évolution de la mécanique (Revue générale des sciences*, 1905), p. 184.

M. Rey a donné un résumé fidèle de la critique de M. Duhem dans : *La théorie de la physique chez les physiciens contemporains*, p. 139. Paris, Alcan, 1907. D'après cet auteur, dit-il, « la mécanique traditionnelle, la mécanique du mécanisme, si l'on peut dire, est insuffisante. Elle porte sur certaines abstractions, sur certaines simplifications apportées aux phénomènes naturels, non sur les phénomènes naturels. Rien d'étonnant alors, qu'on ne puisse tirer d'une série d'hypothèses qui, de parti pris, négligent certaines propriétés naturelles, une explication de ces propriétés ».

ARTICLE II

Faits de l'ordre physique

§ 1

Faits cristallographiques

89. La forme cristalline ; la structure intime du cristal. — Lorsque les corps passent lentement, et à l'abri de toute cause perturbatrice, de l'état liquide ou gazeux à l'état solide, beaucoup d'entre eux se revêtent de formes géométriques. On dit alors qu'ils sont cristallisés.

La régularité que présentent les faces planes d'un cristal, n'est cependant que la manifestation sensible d'une régularité interne et invisible beaucoup plus importante aux yeux du cristallographe. Tandis que dans le corps amorphe aucune loi ne préside au groupement des particules, et que l'arrangement de la matière y est partout également confus, dans un milieu cristallisé, au contraire, tout est réglé : les distances intraatomiques, l'orientation des atomes, et les directions diverses des plans cristallins.

D'après la théorie cristalline, antérieure aux découvertes récentes, un cristal est un réseau à triple dimension, formé de mailles parallélépipédiques ; les nœuds des mailles sont occupés par des *particules complexes* (223) identiques entre elles sous le triple rapport de la composition chimique, du poids spécifique et de la forme cristalline. Toutes ces molécules sont orientées dans l'espace de la même manière ; elles se trouvent à égale distance les unes des autres dans une même direction et dans toutes les directions parallèles.

90. La genèse de l'état cristallin. — Mais l'étude de la structure intime des cristaux au moyen des rayons X a modifié considérablement cette théorie cristalline. Si elle a confirmé l'hypothèse de Bravais qui nous représente le cristal sous la forme d'un assemblage réticulaire, par contre, elle nous a appris que les nœuds des mailles ne sont pas occupés par des particules complexes, sorte d'embryons cristallins dont la répétition était censée donner

(223) De Lapparent, *La philosophie minérale*, p. 174. Paris, Bloud, 1910. — « Les particules complexes, dit-il, seront toutes orientées de la même façon, et auront leurs centres disposés sur les nœuds d'un réseau de Bravais ; et cela en vertu de l'expérience qui nous révèle l'identité des propriétés physiques des cristaux en tous les points ».

lieu au cristal entier, mais par des atomes élémentaires ; que ces atomes, souvent de nature différente, pouvaient occuper non seulement les nœuds, mais les côtés et le centre de la maille cristalline, etc..

Illustrons par un exemple des plus simples cette conception nouvelle. D'après l'interprétation faite par Brayg de toutes les particularités observées dans la réflexion des rayons X sur les plans réticulaires des hologénures alcalins, voici quelle serait la structure intime du sel de cuisine cristallisé. Les atomes de ce corps forment, dans leur ensemble, un réseau cubique simple ; les atomes de chlore sont aux sommets et aux centres des faces de la maille cubique élémentaire ; les atomes du métal sodium sont aux milieux des arêtes et au centre du cube ou vice versa. — Les plans parallèles aux faces du cube sont chargés à la fois d'atomes de chlore et d'atomes de sodium en nombres égaux ; ils sont identiques les uns aux autres, séparés par un intervalle constant. Les plans parallèles aux faces de l'octaèdre ont une constitution toute différente : chacun d'eux ne porte que des atomes d'une seule sorte, donc ou de sodium ou de chlore, et ces plans alternent entre eux à intervalles égaux. (224).

On obtient l'édifice entier en répétant la *maille cristalline* par un groupe de translations déterminé ».

L'*homogénéité* du cristal est constituée par la répétition indéfinie suivant les trois dimensions de l'espace, à des intervalles de quelques unités Angström (10-8 cm.) de points autour desquels la distribution des atomes et par conséquent les propriétés du milieu sont strictement les mêmes (225).

---

(224) MAUGUIN, *La structure des cristaux déterminée au moyen des rayons X*, p. 67 et suiv. 213. Paris, Blanchard, 1924.

(225) MAUGUIN, *ouv. cit.*, p. 80. — « Un cirstal, écrit cet auteur, est un assemblage d'une ou de plusieurs *familles d'atomes équivalents*, en appelant équivalents des atomes qui jouent le même rôle dans l'édifice, autour desquels les autres atomes sont arrangés suivant le même mode ou selon deux modes qui sont entre eux comme un objet et son image. C'est seulement dans les cristaux des corps simples que le nombre de familles d'atomes *peut* se réduire à l'unité (cas du diamant). En général, les cristaux renferment plusieurs familles d'atomes ; les atomes appartenant à des familles différentes se distinguent par leur nature ou leur fonction chimique ou par la façon dont la matière est répartie autour d'eux.

Toutes les familles d'atomes équivalents entrant dans un édifice cristallin admettent un même *groupe d'opérations de recouvrement* qui ramènent chacune d'elles en coïncidence avec elle-même atome par atome. Ces opérations (déplacements simples ou combinés avec une inversion par rapport à un point) parmi lesquelles se trouvent toujours un *groupe de translations* ne donnent à l'édifice (ou à son image) qu'un nombre limité d'orientations différentes, degré de symetrie de l'assemblage.

Une famille d'atomes équivalents contient habituellement plusieurs réseaux d'*atomes*, les atomes d'un même réseau étant *congruents* (la matière autour d'eux est arrangée et orientée de la même manière), les atomes de deux réseaux différents étant seulement *homologues* (autour d'eux

91. Classification des formes cristallines. — Les formes cristallines répandues à la surface du globe sont très nombreuses. La cristallographie les a rangées en six grandes familles, appelées *systèmes cristallins.*

Chaque système présente cette particularité, qu'en partant d'une forme cristalline donnée, appelée forme fondamentale ou primitive, il est possible d'en déduire, conformément à des lois que la nature elle-même observe, toutes les autres formes appartenant à ce système. Le trait de parenté qui se retrouve dans les formes dérivées, est la symétrie déterminée par la forme primitive (226).

Système cubique. — Il a pour forme fondamentale le *cube.* Son caractère essentiel est de posséder trois axes principaux de symétrie, égaux et perpendiculaires entre eux. Ces axes passent par le centre du cube et aboutissent au milieu des faces opposées qui sont toutes des carrés. Pour qu'une forme appartienne à ce système, il faut qu'elle présente cette symétrie parfaite.

Système du prisme à base carrée. — Les bases de ce prisme sont des carrés égaux ; les faces verticales forment des rectangles. Cette forme fondamentale comprend trois axes de symétrie perpendiculaires entre eux : mais deux de ces axes sont égaux ; ils réunissent les milieux des faces latérales opposées ; un troisième est vertical et diffère en longueur des deux autres.

Théoriquement ils existe un nombre illimité de prismes à base carrée, car le rapport de la hauteur à la largeur varie à l'infini.

Système hexagonal. — Le prisme qui en constitue la forme primitive a pour base un hexagone régulier. On y trouve quatre

---

l'arrangement de la matière est le même, mais avec des orientations différentes). Le nombre des réseaux d'atomes congruents, dont se compose chaque famille, atteint au plus le degré de symétrie de l'assemblage. » p. 91.

(226) La symétrie dont il s'agit ici pourrait s'appeler *symétrie macroscopique :* elle est déduite de l'étude des formes cristallines et de l'ensemble des propriétés physiques du cristal : figures de corrosion, caractères optiques, pyro ou piézoélectricité, etc.. Il est une autre symétrie appelée *topographique,* qui concerne la position et la distribution des atomes ou plus exactement des centres atomiques. En fait, les deux symétries se confondent presque toujours. On ne connaît que quelques exceptions où la symétrie macroscopique du cristal est inférieure à celle qu'on attendrait du mode d'arrangement des atomes. On se demande même si ces exceptions ne sont pas plus apparentes que réelles. Cfr. MAUGUIN, *ouv. cité,* p. 92.

Les éléments de symétrie dans les polyèdres sont les plans, les centres et les axes.

Un *centre* de symétrie est un point tel, que tous les sommets du polyèdre considéré soient distribués deux à deux sur des lignes droites passant par ce point et à égale distance de part et d'autre.

Un *axe de symétrie* est une ligne telle que, si l'on imprime au polyèdre, autour de cette ligne, une rotation d'amplitude déterminée, tous les sommets de ce polyèdre se trouvent simplement substitués les uns aux autres, continuant à occuper les mêmes lieux dans l'espace.

Un *plan de symétrie* est un plan qui divise le polyèdre en deux parties telles, que l'une soit l'image fidèle de l'autre.

axes de symétrie. L'un d'eux est vertical et réunit les milieux des deux bases. Trois autres égaux entre eux, mais différents en longueur du quatrième, aboutissent au milieu des arêtes verticales opposées ; ils font en se coupant des angles de 60°. Comme le rapport des axes horizontaux à l'axe vertical est susceptible d'un nombre incalculable de variations, il existe aussi une multitude indéfinie de prismes hexagonaux.

Système orthorhombique. — Sa forme fondamentale est un prisme droit dont les bases constituent des losanges ou des rhombes. On y distingue trois axes de symétrie, perpendiculaires entre eux mais d'inégale longueur. De ces trois axes, deux sont horizontaux et réunissent les milieux des arêtes verticales ; le troisième est vertical et aboutit au centre des deux bases.

Pour la raison alléguée tantôt, le nombre de prismes orthorhombiques, théoriquement possibles, est indéfini.

Système monoclinique ou clinorhombique. — On lui donne pour forme caractéristique un prisme à deux sortes de faces. Les unes, basiques, sont des losanges inclinés. Les autres, verticales, forment des parallélogrammes égaux. Des trois axes de symétrie que comprend ce système, deux se coupent obliquement : c'est l'axe vertical qui réunit le milieu des deux bases, et l'axe incliné qui aboutit au milieu des deux arêtes opposées H. Le troisième, qui coupe en parties égales les deux autres arêtes, est perpendiculaire aux autres axes.

Système clinoédrique ou triclinique. — Sa forme fondamentale est un parallélépipède à trois sortes de faces. Les bases inclinées ne forment plus de losanges. Les trois axes que l'on peut encore s'imaginer ne sont plus des axes de symétrie ; ils se trouvent inclinés l'un sur l'autre et diffèrent entre eux de longueur.

92. Comment les formes d'un système dérivent-elles de la forme fondamentale ? — En soumettant à certaines modifications les angles et les arêtes d'une forme primitive, on arrive à en déduire toutes les autres formes susceptibles de rentrer dans le système choisi.

On peut pratiquer sur les *arêtes* une troncature ou un biseau. Dans le premier cas, chaque arête se trouve remplacée par une face nouvelle. Dans le second, deux faces se substituent à l'arête biseautée.

Les *angles solides* sont aussi transformables de plusieurs manières. La troncature remplace l'angle par une face. Le pointement direct substitue à l'angle solide trois faces également inclinées sur les faces antérieures. Le pointement indirect nous donne aussi, au lieu de l'angle, trois faces ; mais celles-ci sont tournées du côté des arêtes. Le pointement double est l'application simul-

tanée des deux précédents ; il remplace l'angle solide par six faces. Enfin, dans certains cas, on peut aussi pratiquer un biseau sur l'angle et lui substituer deux faces nouvelles.

Théoriquement, le nombre de formes résultant de ces modifications est indéfini. En fait, il existe quelques lois qui le restreignent considérablement (227).

93. Importance de la forme cristalline. — Ce qui intéresse le plus dans les phénomènes de cristallographie, c'est la loi que formulait déjà l'abbé Hauy, à la fin du XVIII[e] siècle : « Les corps de même composition chimique ont une même forme cristalline, les corps de composition différente ont aussi une forme cristalline différente. »

En un mot, chaque espèce chimique a sa forme cristalline spécifique.

Ainsi, l'oligiste Fe_2O_3, le quartz SiO_2, la calcite $CaCO_3$, cristallisent dans le système rhomboédrique, mais l'angle dièdre caractéristique diffère dans chacun de ces corps. Le premier a un angle de 86°1', le second de 94°15, le troisième de 105°10'. La valeur de ces angles est invariable (228).

Grâce à cette constante relation, la cristallographie est devenue le complément naturel de la chimie : elle lui fournit un signe révélateur de la nature et de la spécificité de toutes les substances cristallisables.

« La forme cristalline, écrit M. Hutchinson, est une propriété absolument caractéristique d'un composé chimique, et... de plus, elle a été actuellement déterminée dans le cas de plus de 10.000 substances » (229).

A première vue, cette loi générale paraît en opposition flagrante avec certains cas nettement définis que les cristallographes ont appelés du nom d'isomorphisme et de polymorphisme.

---

(227) C'est d'abord la loi de symétrie qui s'énonce comme suit : Dans un cristal, les parties de même espèce doivent être modifiées en même temps et de la même manière. Les parties d'espèce différente doivent, si on les modifie, subir des modifications différentes. Ainsi, on peut tronquer les arêtes basiques d'un prisme à base carrée sans tronquer les arêtes verticales qui sont d'espèce différente. De même, la troncature d'une arrête basique qui réunit deux faces différentes doit être inclinée inégalement sur les faces.

La seconde loi s'appelle d'ordinaire « la loi de rationalité et de simplicité des paramètres ». En voici l'énoncé : Les longueurs des paramètres de tous les solides dérivés d'une forme fondamentale donnée, doivent se trouver dans un rapport rationnel et simple avec les longueurs des paramètres correspondants de la forme fondamentale.

(228) La loi de la constance de l'angle dièdre n'est cependant qu'une loi approchée. Cfr. NERNST, *Traité de chimie générale,* t. I, p. 85. Paris, Hermann, 1911.

(229) HUTCHINSON, *Chimie minéralogique. (Les progrès de la chimie en 1912,* p. 313. Paris, Hermann, 1913).

94. Isomorphisme. — L'isomorphisme est la propriété que possèdent certains corps de pouvoir cristalliser ensemble en toutes proportions et de revêtir une forme cristalline commune (230).

Ce cas est réalisé notamment dans les carbonates prismatiques qui tous cristallisent en prismes orthorhombiques, et dans les carbonates rhomboédriques.

Y a-t-il dans ces faits une exception réelle à la loi énoncée ?

Les cristallographes distinguaient deux cas qui peuvent se présenter.

Ou bien les corps isomorphes appartiennent au système cubique.

Dans cette hypothèse, l'isomorphisme, disaient-ils, ne prouve ni pour ni contre la loi. En effet, pour différencier les formes cristallines, ils n'avaient d'autre critérium que les axes de symétrie et les angles dièdres. Or ces éléments sont identiques dans toutes les formes du système. Ils se trouvaient donc dans l'impossibilité de se prononcer sur l'identité ou la diversité de ces formes.

Il est à espérer que les méthodes nouvelles employées en cristallographie pourront donner bientôt la solution complète de ce problème. L'étude des cristaux au moyen des rayons X pénètre beaucoup plus avant qu'on l'avait fait jusqu'ici, dans la constitution intime de la maille ou période cristalline. C'est donc à cette méthode qu'il appartient de mettre en lumière l'existence de structures embryonnaires diverses cachées jusqu'ici par une forme résultante identique, et de nous dire dans quelle mesure la loi générale est sauvegardée.

Ou bien les corps isomorphes font partie de l'un des cinq autres systèmes.

Dans ce cas, l'isomorphisme ne constitue pas davantage une dérogation à la règle générale. Expliquons-nous :

Les carbonates prismatiques forment sans aucun doute, parmi les substances isomorphes, l'un des groupes les plus intéressants. Lorsque ces corps cristallisent *isolément*, chacun d'eux présente un angle dièdre spécial, comme le prouve le tableau suivant :

Aragonite	$CaCO_3$	116°10'
Strontiane	$SrCO_3$	117°19'
Cérusite	$PbCO_3$	117°14'
Withérite	$BaCO_3$	117°48'

(230) Pour l'exposé des diverses variétés d'isomorphisme, cfr. WALLERANT, *Cristallographie*, liv. V. Paris, Béranger, 1909. — BRUNI, *Feste Lösungen und Isomorphismus*. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft, 1908. — MAURAIN, *Les états physiques de la matière*, pp. 235 et suiv. Paris, Alcan, 1910. — NERNST, *Traité de chimie générale*, t. I, p. 215 et passim. Paris, Hermann, 1911.

Ainsi en est-il des carbonates rhomboédriques :

Calcite	$CaCO_3$	105°5'
Diallogite	$MnCO_3$	106°51'
Sidérose	$FeCO_3$	107°
Giobertite	$MgCO_3$	107°20'
Smithsonite	$ZnCO_3$	107°40'

Ces espèces chimiques ont donc des formes très rapprochées, mais non identiques. Or, en cristallographie, toute différence constante d'angle, quelque petite qu'elle soit, est spécifique.

La loi se trouve par conséquent rigoureusement observée, chaque fois que ces substances cristallisent séparément.

Il reste vrai cependant que les corps isomorphes possèdent aussi la faculté de *cristalliser ensemble* et de prendre une forme cristalline commune. Et cette tolérance de la nature se rencontre non seulement chez les espèces chimiques semblables ou cristallines rapprochées, mais aussi chez des espèces de symétrie incompatible. L'expérience enseigne qu'on peut faire cristalliser ensemble en toutes proportions, le chlorate de sodium cubique ($NaClO_3$), le chlorate de potassium monoclinique (KlO_3) et l'azotate de sodium rhomboédrique ($NaNO_3$).

95. Polymorphisme. — Le polymorphisme est la propriété en vertu de laquelle un corps donné peut cristalliser sous des formes cristallines incompatibles.

Le soufre naturel et celui qu'on obtient dans les laboratoires par voie humide, sont orthorhombiques, tandis que le soufre fondu est clinorhombique. Le sulfure de zinc est cubique dans la *blende*, hexagonal dans la *Wurtzite*.

Il arrive même parfois que le système cristallin change avec la température. Jusqu'en ces dernières années, les cristallographes, voulant faire rentrer tous ces cas sous la loi générale, avaient proposé différentes hypothèses basées surtout sur la forme de l'embryon cristallin (231). Ces interprétations qui paraissaient très satisfaisantes sont soumises actuellement au contrôle des méthodes nouvelles et devront, selon toute vraisemblance, subir des modifications plus ou moins profondes.

Mais quel que soit le résultat de ces recherches, dût-on même constater des exceptions réelles à la loi qui lie la nature chimique à la forme cristalline d'un corps, le nombre de cas favorables à cette loi est assez considérable pour y voir l'expression d'une véritable tendance de la nature, susceptible toutefois de se plier, dans des limites restreintes, aux exigences des milieux où elle s'exerce.

(231) DE LAPPARENT, *Philosophie minérale*, Paris, Bloud, 1910.

§ 2

Le mécanisme en cristallographie

96. Critique de l'interprétation mécanique. — Lorsqu'on examine une *maille* ou *période cristalline,* dont la répétition par un groupe de translation déterminé donne naissance au cristal sensible, on est frappé de l'ordre réalisé dans cet assemblage atomique. Considérons par exemple la fluorine ou le fluorure de Calcium $CaTl_2$) cristallisée, décrite par Brayg. Le nombre d'atomes qui constituent une maille, leur position dans la maille, leurs distances mutuelles, tout y est déterminé avec une précision étonnante. Chaque atome de Calcium, par exemple, a pour voisins immédiats 8 atomes de fluor placés aux sommets d'un cube dont il est le centre ; chaque atome de fluor est entouré de 4 atomes de calcium situés aux sommets d'un tétraèdre régulier. Autour des atomes de calcium non seulement l'arrangement mais l'orientation de l'édifice formé par les autres atomes sont les mêmes, ce qu'on exprime en disant que les atomes de calcium sont congruents. Au contraire, si l'arrangement de la matière est le même autour de tous les atomes de fluor, il s'y présente avec deux orientations différentes nettement déterminées (232).

Quel peut être, dans la théorie mécanique, le principe régulateur qui préside à l'agencement de ces atomes et ultérieurement à la formation des plans réticulaires ? On fait appel au mouvement des particules atomiques ; mais ne l'a-t-on pas dépouillé de tout élément finaliste, de toute tendance interne vers un but approprié ?

Comment se produit donc cette convergence des mouvements atomiques qui groupe dans l'édifice cristallin, conformément aux lois établies, les éléments destinés à en faire partie ?

Ces particularités du phénomène de la cristallisation, direz-vous, sont la conséquence fatale d'un état d'équilibre de la matière. Les corps ont une tendance innée à la stabilité, et c'est justement l'état cristallin qui répond à ce vœu de la nature. D'accord, vous énoncez un fait ; nous sommes à la recherche des causes qui le réalisent. Or dans un fourmillement d'atomes, animés des mouvements les plus divers, s'entrechoquant en tous sens, nous ne découvrons aucun agent capable de déterminer le groupement qui constitue une maille cristalline et de lui donner, avec une précision mathématique, sa forme caractéristique.

Veut-on recourir aux attractions électrostatiques admises généralement de nos jours par les cristallographes pour rendre

(232) MAUGUIN, *La structure des cristaux,* p. 80.

compte de la cohésion des cristaux ? La difficulté reste la même, car, en théorie mécanique, l'attraction, de quelque nature qu'elle soit, ne peut se faire que par le mouvement local.

Si, des profondeurs des masses atomiques ou moléculaires, un principe de finalité immanente imprimait aux mouvements des directions privilégiées, le mode d'association et sa constance se comprendraient peut-être plus aisément. Mais se peut-il que des masses, essentiellement homogènes, se trouvent sous l'empire d'inclinations spécifiques ?

Sous quelque aspect qu'on l'envisage, soit que l'on scrute les modalités du mouvement, soit que l'on pénètre la nature intime du corps, ce phénomène reste une énigme, car il est marqué au coin de l'ordre, et l'ordre ne se conçoit point sans un principe régulateur.

§ 3

Faits physiques proprement dits

Dans cet exposé, nous nous occuperons exclusivement des propriétés physiques qui présentent, pour les différentes espèces de corps, des caractères différentiels et peuvent, à ce titre, servir au physicien de critérium de spécification (233). C'est à ce point de vue qu'elles ont leur place marquée dans une étude cosmologique.

97. Poids spécifique. —Tous les corps occupent dans l'espace un certain volume ; mais, sous un même volume, tous ne renferment point la même quantité de matière. Dans la détermination du poids relatif des corps, les physiciens ont choisi l'eau pour unité de mesure ; ils appellent densité ou poids spécifique d'une substance solide ou liquide, le rapport de son poids à celui d'un même volume d'eau distillée à son maximum de densité.

L'expérience démontre que chaque corps a une densité rigoureusement spécifique.

98. Etat naturel des corps. — Sous l'influence de la chaleur ou d'un refroidissement suffisant, tous les corps passent successivement par les trois états, liquide, solide et gazeux. Le carbone, que l'on avait regardé jusqu'ici comme un corps infusible et fixe, fut récemment volatilisé à une température de 3500°. L'hydrogène lui-même, rangé d'ordinaire parmi les gaz permanents ou réfractaires à tout changement d'état, a pu être liquéfié et solidifié.

(233) Pour ne rien préjuger de la nature intime des corps, nous prenons ici le mot *espèce* dans le sens que lui accordent les hommes de science.

Néanmoins, dans les circonstances ordinaires de pression et de température, chaque corps a son état propre (234).

Il est vrai qu'un grand nombre de substances matérielles sont naturellement gazeuses, mais aucune ne l'est au même degré. Le chlore à — 35° prend facilement l'état liquide. L'oxygène n'y arrive qu'à une température de 181° 4. L'hydrogène exige un refroidissement de 220°.

Ces différences d'aptitude à abandonner leur état normal se remarquent également chez les corps solides et liquides.

Si l'on tient compte de ce fait général, il est donc permis d'affirmer que l'état d'un corps est un caractère spécifique. Or, d'où dépend cet état ? De la cohésion qui s'exerce entre les particules, et, en dernière analyse, de la molécule chimique ou des atomes qui constituent respectivement l'individualité du corps.

99. Phénomènes calorifiques. — Le *coefficient de dilatation* d'un corps solide ou liquide est, en général, l'accroissement que prend l'unité de volume, lorsque la température s'élève de 0° à 1°. Ce coefficient diffère d'une substance à l'autre ; il reste néanmoins constant pour une substance déterminée.

On a longtemps admis que tous les gaz se dilatent de la même manière quand on les soumet à une même variation de température, la pression restant la même.

Mais la loi de Gay-Lussac qui exprime ce rapport est une loi-limite. Il en est ainsi de la loi de Mariotte d'après laquelle, la température restant la même, le volume d'un gaz serait en raison inverse de la pression. Il résulte des expériences de Régnault, que les coefficients de dilatation des corps gazeux diffèrent réellement les uns des autres, bien que ces différences soient extrêmement petites et diminuent de plus en plus, à mesure que les gaz s'approchent de l'état gazeux parfait. L'hydrogène et l'oxyde de carbone en donnent un bel exemple. Le premier a pour coefficient, sous pression constante, 0,003661 ; le second, 0,003669 (235).

La loi générale ne comporte donc pas d'exception.

100. Chaleur spécifique. — Si l'on prend comme unité de chaleur la calorie, c'est-à-dire la quantité nécessaire pour élever d'un degré la température d'un kilogramme d'eau, on constate qu'il

---

(234) Ce fait s'accorde avec cet autre fait, que la matière représente un état d'équilibre entre les forces intimes dont elle est douée et les forces externes qui l'enveloppent. Dans le même milieu, chaque corps a son état spécial, bien que le corps le plus rigide puisse se transformer en vapeur dans le vide absolu. Cfr. LEBON, *L'évolution des forces*, p. 355. Paris, Flammarion, 1912.

(235) Ces deux lois ont été complétées par la loi de Van der Waals, qui devra elle-même subir certaines modifications pour rester conforme aux expériences d'Amaga sur la compressibilité des liquides. Cfr. BOUTY, *La vérité scientifique*, pp. 102 et suiv. Paris, Flammarion, 1908.

faut communiquer aux masses égales de corps différents, un nombre différent de calories pour élever leur température d'un degré.

En un mot, les corps se diversifient par leur capacité calorifique ou leur chaleur spécifique (236).

L'examen de ce fait a conduit deux physiciens, Dulong et Petit, à la découverte d'une loi remarquable qui rattache la physique à la chimie. En voici la formule : « La chaleur spécifique des corps simples solides est en raison inverse des poids atomiques. » En d'autres termes, ces deux données sont dans un tel rapport, qu'en les multipliant l'une par l'autre on obtient une constante.

Citons quelques exemples :

Le zinc	a pour	chaleur spécifique	0,0955	d'où le produit 6,2.
»	»	poids atomique	64,9	
Le sodium	»	chaleur spécifique	0,2924	d'où le produit 6,7.
»	»	poids atomique	23,043	
Le potassium	»	chaleur spécifique	0,1655	d'où le produit 6,5.
»	»	poids atomique	39,137	

Pour les corps solides, la moyenne ou la constante est 6,4. Pour les corps gazeux parfaits, elle est 3,0 (237).

Quant aux autres corps, elle oscille entre ces deux chiffres, en se rapprochant de l'un ou de l'autre, selon que le corps tend davantage vers l'état solide ou vers l'état gazeux (238).

---

(236) « Les chaleurs spécifiques des solides à pression constante, qui sont données par l'expérience, augmentent d'une façon continue avec la température entre 0° et 1000°. » Cfr. BAUER, *Les quantités élémentaires d'énergie*, p. 123 *(Les idées modernes sur la constitution de la matière)*. Paris, Gauthier-Villars, 1913.

« Les chaleurs spécifiques des gaz polyatomiques ne sont pas constantes, mais augmentent d'une façon absolument continue avec la température. C'est ainsi que la chaleur moléculaire de l'oxygène et de l'azote passe de 5 à 6 lorsque la température s'élève de 0° à 1400°. » BAUER, *op. cit.*, p. 122.

(23) La chaleur spécifique des gaz monoatomiques (à volume constant) est de 3,0, environ la moitié de ce qu'exige la loi de Dulong et de Petit pour les corps solides. » NERNST, *Traité de chimie générale*, t. I, p. 196.

(238) Cette loi n'est pas rigoureusement vraie, puisque la chaleur atomique, c'est-à-dire le produit du poids atomique par la chaleur spécifique, peut varier considérablement avec la température, avec l'état d'agrégation et d'autres circonstances physiques.

« Si nous tenons compte, dit Lothar Meyer, que, généralement, la loi n'est plus vraie dans le voisinage du point de fusion ou à l'état liquide, on peut admettre... que la loi de Dulong et Petit est vraie pour tous les éléments métalliques, ou sinon absolument pour tous, du moins pour tous entre certaines limites de température déterminées, parce que, dans l'intervalle de ces limites la chaleur spécifique ne varie que peu avec la température... » *Les théories modernes de la chimie*, p. 90. Paris, Carré, 1887. — Cfr. DE THIERRY, *Introduction à l'étude de la chimie*, p. 355. Paris, Masson, 1906. — PERRIN, *Les atomes*, p. 31. Paris, Alcan, 1913. — C. MARIE, *Revue de chimie physique (Revue générale des Sciences*, 30 mars 1913), p. 234.

« Les expériences de Weber et de Pionchon ont montré, dit M. Bauer,

Plus tard, Régnault, Kopp, Woestyn ont étendu la loi aux composés eux-mêmes et établi « qu'au poids moléculaire de chaque composé solide correspond une chaleur spécifique qui est, au moins approximativement, la somme des chaleurs spécifiques des atomes contenus dans la molécule ».

C'est, on le voit, un moyen précieux de découvrir le nombre d'atomes d'une combinaison donnée.

Ainsi, le produit de la chaleur spécifique de l'iodure de plomb PbI_2 par le poids de la molécule, donne 19,65. Or, si l'on divise ce produit par 3, on obtient 6,55, c'est-à-dire un chiffre à peu près équivalent à celui qu'on obtiendrait en multipliant la chaleur spécifique d'un atome par son poids.

Mais la conclusion importante qui se dégage de ces lois, c'est que chaque corps simple ou composé jouit d'une capacité calorifique spécifique, laquelle, dans beaucoup de cas, et moyennant certaines conditions de température, est inversement proportionnelle à son poids atomique ou moléculaire.

101. Point de fusion ou de vaporisation. — Sous pression ordinaire, tout corps entre en fusion à une température déterminée, invariable et qui lui est propre. L'étain fond à 228°, le plomb à 335, le zinc à 350, le platine à 1775.

Le point de fusion peut dépendre de certaines causes accidentelles ; « il ne semble pas néanmoins, écrit M. Nernst, qu'aucune autre constante naturelle soit aussi appropriée à la caractérisation d'un composé chimiquement défini » (239).

De même, sous une pression donnée, la vaporisation ne commence qu'à une température fixe et spéciale pour chaque substance.

---

que les exceptions connues à la loi de Dulong et de Petit disparaissent vers 900° (pour les corps solides), mais aux basses températures les phénomènes présentés par le carbone, le silicium et le bore deviennent absolument généraux ; au-dessous de — 80° les chaleurs atomiques sont toutes inférieures à la valeur exigée par la loi de Dulong et de Petit. » BAUER, *Les quantités élémentaires d'énergie* (*Les idées modernes sur la constitution de la matière*, Paris, Gauthier-Villars, 1913, p. 123).

« Pourtant, écrit Perrin, l'on ne peut attribuer au hasard les coïncidences si nombreuses signalées par Dulong et Petit, et l'on doit seulement modifier leur énoncé, lui donnant, je pense, la forme suivante, qui tient compte des mesures récentes : La quantité de chaleur nécessaire pour lever de 1° à volume constant, la température d'une masse solide, pratiquement nulle aux très basses températures, grandit quand la température s'élève et finit par devenir à peu constante. (Bien entendu, si le corps fond ou se volatilise, il échappe à la vérification). Elle est alors de 6 calories environ par atome-gramme de n'importe quelle sorte présente dans la masse solide. Cette limite est atteinte plus rapidement pour les éléments dont le poids atomique est élevé... J'insiste sur le fait que les corps composés vérifient la loi ». Cfr. PERRIN, *Les atomes*, p. 33. Paris, Alcan, 1924.

(239) NERNST, *Traité de chimie générale*, t. I, p. 381. Paris, Hermann, 1911.

102. Chaleur latente de fusion et de vaporisation. — Pendant toute la durée de ces phénomènes, et quel que soit le calorique communiqué, la chaleur sensible du corps reste constamment la même. On appelle « chaleur latente de fusion et de vaporisation » le nombre de calories absorbées par un kilogramme d'un corps donné pour passer, sans élévation de température, de l'état solide à l'état liquide, ou de celui-ci à l'état gazeux.

Ce nombre varie d'une substance à l'autre.

103. Conductibilité calorifique. — La vitesse avec laquelle la chaleur se transmet à travers la matière, dépend aussi de la nature des corps, ou, comme s'expriment les physiciens, la conductibilité calorifique est une propriété spécifique.

104. Pouvoir absorbant et émissif. — Soumettez à l'action d'une même chaleur et dans des conditions identiques, des corps de nature différente ; chacun d'eux en absorbera des quantités diverses. De même, à température et à surface égales, chacun en émettra une quantité spéciale.

Il y a donc lieu de leur attribuer un pouvoir absorbant et émissif spécifique.

105. Phénomènes optiques. — Réflexion régulière. — Les rayons lumineux qui tombent sur un corps poli se partagent en deux parties : les uns pénètrent dans le corps, les autres se relèvent comme repoussés par la surface. On dit alors qu'ils sont réfléchis. Parmi ces derniers, les uns le sont d'une manière régulière, les autres le sont dans toutes les directions autour du point d'incidence.

Pour un même corps, l'intensité de la lumière réfléchie régulièrement, augmente avec le degré de poli et l'angle d'incidence que forment les rayons avec la surface réfléchissante. Mais pour des corps de nature différente, polis d'ailleurs avec le même soin et ayant le même angle d'incidence, l'intensité varie selon la substance (240).

Ces différences se constatent aussi dans le phénomène de réflexion régulière.

106. Réfraction simple. — Lorsque les rayons lumineux passent obliquement d'un milieu dans un autre, ils éprouvent une déviation à laquelle on a donné le nom de *réfraction*. Or cette déviation change nécessairement avec la substance qui fait fonction de milieu. C'est ce qu'exprime clairement la loi de Descartes : « Quelle que soit l'obliquité du rayon, le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction sont dans un rapport constant pour deux mêmes milieux, mais variable si les milieux changent » (241).

(240) JAMIN, *Cours de physique*, t. III, pp. 24 et suiv.
(241) *Ouv. cit.*, t. III, p. 62.

« La réfraction moléculaire, écrit M. Nernst, est pour une substance donnée une grandeur caractéristique, qui ne dépend nullement des conditions dans lesquelles on en fait l'étude » (242).

Les lois qui règlent la réflexion et la réfraction de la lumière régissent aussi les phénomènes calorifiques.

Elles fournissent ainsi un double indice de la distinction spécifique des corps.

107. Couleur. — La couleur ordinaire des corps est produite par l'extinction de certaines parties de la lumière blanche et la réflexion des autres parties non éteintes. Les corps qui les réfléchissent toutes dans les proportions voulues sont blancs ; ceux qui n'en réfléchissent aucune sont noirs. Entre ces deux limites extrêmes se présentent une infinité de nuances qui ne dépendent que du rapport établi entre les parties absorbées et les parties réfléchies (243).

En réalité, aucun corps n'est coloré en l'absence de la lumière, puisque sa couleur est le résultat de son action sur la lumière reçue. La teinte d'un objet peut même varier, soit avec la source de lumière, soit avec le milieu. Cependant, il n'en reste pas moins vrai que les corps ont la propriété naturelle d'absorber ou d'éteindre telle ou telle partie d'un faisceau lumineux, et de renvoyer à l'œil du spectateur telle ou telle partie non éteinte.

Ainsi entendue, la couleur devient un caractère naturel du corps et peut servir, dans bien des cas, de moyen de spécification (244).

Suivant M. Nernst, « le pouvoir absorbant (de la lumière) des substances varie avec leur nature entre des limites très écartées et de la façon la plus diverse, plus encore que la plupart des propriétés » (245).

108. Propriétés spectrales. — Si l'on reçoit dans une chambre obscure un faisceau de lumière solaire, à travers une petite ouverture pratiquée dans le volet, ce faisceau tend à former une image ronde et incolore du soleil ; mais si l'on interpose sur son passage un prisme disposé horizontalement, le faisceau, à l'entrée

---

(242) NERNST, *Traité de chimie générale*, 1 vol., p. 356. Paris, Hermann, 1911.

(243) En fait, le mélange de toutes les couleurs du spectre solaire paraît blanc parce qu'à chacune d'elles correspond une couleur complémentaire de même intensité, qui, mélangée à la première, donne à l'œil la sensation du blanc.

(244) La coloration des corps solides subit des changements notables lorsqu'ils se trouvent en solution étendue. La théorie des ions donne de ce fait une explication très satisfaisante. Cfr. HERZ, *Les bases physico-chimiques de la chimie analytique*, pp. 66-70. Paris, Gauthier-Villars, 1909. D'après HANTZSCH, ces changements de coloration seraient dus à des changements de constitution du corps dissous. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, B. II, s. 1216, 1908.

(245) NERNST, *Traité de chimie générale*, t. I, p. 388. Paris, Hermann, 1911.

et à la sortie du prisme, se réfracte, et au lieu d'une image ronde et incolore, on reçoit, sur un écran éloigné, une image oblongue et colorée des teintes de l'arc-en-ciel. Newton a donné à cette image le nom de *spectre solaire* (246).

A l'examen du spectre solaire, on remarque qu'il est coupé par des raies sombres, placées à intervalles dans la bande brillante, où elles occupent même une position bien définie. Quelle est la cause de ce phénomène ?

Ces raies sombres proviennent de ce que certains gaz ou vapeurs, situées sur le trajet de la lumière solaire, absorbent une partie des radiations lumineuses. Ce sont des raies d'absorption.

Or, l'expérience a établi que les raies obscures, produites par un gaz dans le spectre de la lumière qui le traverse, deviennent brillantes et occupent identiquement la même place, lorsque ce gaz est porté à l'incandescence (247).

Le sodium, rendu incandescent dans une flamme simple, donne un spectre strié par une double raie jaune qui occupe tout juste la place délimitée par la raie obscure D du spectre solaire ; d'où l'on peut conclure avec certitude, que les radiations lumineuses du soleil avaient été, en traversant l'atmosphère, partiellement absorbées par les vapeurs non incandescentes du sodium.

Le spectre d'*émission* n'est donc que le spectre d'*absorption* renversé.

La lumière nous fait ainsi connaître la nature des corps de deux façons : par les rayons lumineux qu'ils émettent et par l'absorption de certaines ondes lumineuses que ces corps occasionnent.

Comme le prouvent de nombreuses observations, chaque corps a son système de raies particulières, ou mieux, son spectre spécifique.

« Que chaque espèce de molécule, atome isolé, ou combinaison chimique ait son spectre particulier, c'est, dit M. Nernst, ce dont on ne peut douter ». « La façon de se comporter des gaz incandescents est caractéristique : ils n'émettent, ou tout au moins émettent principalement, *des rayons de longueurs d'onde parfaitement déterminées,* de sorte qu'ils fournissent un spectre formé de bandes lumineuses séparées, que, suivant le nombre et la largeur de ces bandes, on désigne sous le nom de *spectre de bandes* ou *spectre de lignes.* C'est sur ce fait que, dans des conditions données de température et de pression, à chaque gaz correspond un

(246) Ganot, *Traité élémentaire de physique,* p. 495.

(247) Les corps solides ou liquides émettent un spectre continu. Les gaz et vapeurs émettent un spectre constitué de bandes lumineuses séparées, ou de lignes.

spectre d'émission parfaitement déterminé et à un haut degré caractéristique, qu'est basée l'analyse spectrale » (248).

Selon M. Bouty, « le spectroscope est le guide le plus précieux pour la recherche des métaux ou des gaz nouveaux, leur séparation et leur purification naturelle » (249).

Les corps composés ont donné lieu à certaines controverses dans le monde des physiciens. Plusieurs ont cru n'apercevoir, dans le spectre de certaines combinaisons, qu'une simple réunion ou superposition des raies distinctives des composants. Une étude plus attentive des faits semble établir qu'en réalité, les hautes températures auxquelles les objets d'expérience se trouvent soumis, décomposent les corps en leurs éléments constitutifs, si bien que chacun doit naturellement produire les raies correspondant à sa nature.

Il arrive même qu'à ces températures élevées, non seulement le composé se désagrège, mais ses éléments mis en liberté reforment de nouvelles substances plus stables — à 3000° la vapeur d'eau contient les molécules H_2O, H_2, O_2, H_2O_2, O_3 et probablement H et O en quantités notables (250).

Aussi longtemps, au contraire, qu'on leur conserve leur unité, les composés présentent, eux aussi, des propriétés spectrales très caractéristiques.

« Quand on veut obtenir, dit Daguin, le spectre d'un métal engagé dans une combinaison, il est essentiel d'opérer à une température suffisamment élevée pour que le métal soit mis en liberté. S'il n'en était pas ainsi, le spectre serait celui de la combinaison, car celle-ci possède un spectre propre » (251).

109. Rayonnement de Röntgen. — Nous avons examiné jusqu'ici les spectres lumineux. D'après la théorie physique moderne, ces spectres sont déterminés par les vibrations des électrons constitutifs de la dernière couche électronique de l'atome, la plus éloignée du noyau. Mais il est d'autres spectres non lumineux qui ont leur origine dans une couche plus profonde, intermédiaire entre

---

(248) Nernst, *Traité de chimie générale,* 1re partie, p. 218. — Sir Lockyer, *L'évolution inorganique,* c. II et III. Paris, Alcan, 1905. On doit à cette méthode la découverte de plusieurs corps simples, entre autres, le lithium, le caesium etc., la connaissance de la constitution chimique du soleil et des étoiles.

(249) Bouty, *La vérité scientifique,* p. 311. Paris, Flammarion, 1908. — Il importe cependant de noter, qu'à chaque élément chimique correspondent des spectres différents suivant le mode d'excitation ; de plus, la position et la largeur des raies et des bandes dépendent d'un grand nombre de facteurs : à citer notamment, le champ magnétique, la température, la pression, etc. Cfr. Houllevigue, *Revue annuelle d'optique (Revue générale des Sciences,* 30 août 1911), p. 650.

(250) Nernst, *op. cit.,* p. 219.

(251) Daguin, *Traité élémentaire de physique,* t. IV, p. 253.

la couche des électrons optiques et celle qui est la plus voisine du noyau atomique. Les rayons émanés de cette source ont une longueur d'onde plus petite et une fréqeunce plus grande que les rayons lumineux. Ils donnent lieu au rayonnement de Röntgen.

Lorsqu'une décharge électrique se produit dans l'atmosphère suffisamment raréfiée d'une ampoule de verre munie de deux électrodes, l'une négative, la cathode, l'autre positive, l'anode, il se fait à la cathode une émission de rayons dits *cathodiques*. Tout obstacle frappé par ces rayons émet des rayons Röntgen. Or l'expérience établit que la longueur d'onde de ce rayonnement varie avec la nature de la substance qui constitue l'obstacle. En d'autres termes, tout corps capable de jouer le rôle d'anticathode, émet des rayons d'une longueur d'onde déterminée, caractéristique de ce corps, et donne naissance à un spectre composé de raies étroites où se révèle aussi sa nature propre.

110. Propriétés acoustiques. — Au point de vue cosmologique, ce genre de phénomènes ne présente qu'un intérêt secondaire. On connaît depuis longtemps la théorie physique du son. Quand les molécules d'un corps élastique ont été dérangées très peu de leur position d'équilibre, elles y reviennent dès qu'elles sont abandonnées à elles-mêmes, dépassent cette position en vertu de la vitesse acquise, pour y revenir de nouveau et s'y arrêter après avoir accompli un certain nombre d'oscillations d'amplitude décroissante. Ces oscillations, lorsqu'elles sont très rapides, se nomment *vibrations* et donnent naissance au son.

Les propriétés acoustiques varient donc avec les propriétés élastiques et la structure moléculaire des corps ; car il est clair que la nature de ces mouvements alternatifs ou vibrations dépend de l'élasticité et de la structure moléculaire du corps qui oscille.

Sur ce terrain de l'acoustique, on ne rencontre guère d'autre critérium de spécification.

111. Propriétés électriques. — Parmi les forces de la matière, il n'en est peut-être point de plus mystérieuse que l'électricité. Elle donne lieu à des effets multiples qui trahissent facilement sa présence, effets physiologiques, mécaniques, physiques et chimiques, mais jusqu'ici, sa nature intime échappe à toutes les investigations (252).

(252) Suivant l'opinion de Franklin, l'électricité serait un fluide impondérable dont chaque corps contient une quantité normale. Si la charge dépasse cette quantité, il y a électrisation positive. Dans le cas contraire, l'électricité est négative. Pour Clausius et d'autres physiciens, l'électricité se confondrait avec l'éther dans lequel baignent les molécules de tous les corps et qui remplit les espaces interplanétaires. Les phénomènes d'électrisation traduiraient des états particuliers de l'éther. Actuellement on regarde l'électricité comme constituée d'atomes appelés électrons. Voir plus haut, *Introduction : La constitution de la matière d'après les physiciens modernes*.

Envisagée comme propriété différentielle, l'électricité permet de partager les corps en *bons* et *mauvais conducteurs*, d'après l'aptitude qu'ils possèdent de transmettre aux corps voisins l'électricité développée en eux, ou de la retenir dans l'intérieur de leur masse.

En fait, il n'existe aucune substance qui ne puisse être électrisée, mais il y a des corps isolants ou conducteurs, c'est-à-dire des corps qui gardent leur vertu électrique, et d'autres qui la perdent.

« La faculté de conduire l'électricité, dit Jamin, n'est point une propriété dont les corps sont absolument doués ou absolument dépourvus ; on peut dire qu'ils la possèdent tous à des degrés extrêmement divers, et on peut les ranger dans une série à peu près continue, par ordre de conductibilité décroissante, depuis ceux où elle est la plus grande et qui sont les meilleurs conducteurs, jusqu'à d'autres où elle n'est plus sensible et qui sont les substances isolantes : on verra que généralement la faculté conductrice est une propriété inhérente à la nature même des corps, mais cela n'est pas absolu et l'état moléculaire a ici une influence considérable » (253).

« En parlant de la vitesse de l'électricité, dit M. Le Bon, il faut donc dire que, suivant les corps, elle circule avec une rapidité variant entre quelques centimètres par seconde, et 300.000 kilomètres pendant le même temps » (254).

Une propriété électrique qu'il importe aussi de signaler est la *constante diélectrique*. « L'action électrostatique réciproque de deux corps électrisés est variable avec la nature du milieu dans lequel ils se trouvent. Si ces corps s'attirent, dans le vide, avec une force K, cette force, dans un autre milieu, devient $\frac{K}{D}$; D est ce qu'on nomme la *constante diélectrique* du milieu considéré. Or, cette constante, écrit M. Nernst, est extraordinairement variable d'une substance à une autre, et paraît très propre à caractériser, dans une large mesure, un grand nombre de substances » (255).

112. Propriétés magnétiques. — On donne le nom d'*aimant* à tout corps qui jouit de la propriété d'attirer la limaille de fer. Certains corps, tel l'oxyde magnétique de fer, possèdent naturellement cette propriété et s'appellent des aimants *naturels*. D'autres l'acquièrent artificiellement et deviennent ainsi des aimants *artificiels*.

D'une manière générale, on peut admettre, à l'heure présente,

(253) Jamin, *Cours de physique*, t. I, p. 361.
(254) Le Bon, *L'évolution des forces*, p. 125. Paris, Flammarion, 1908.
(255) Nernst, *Traité de chimie générale*, t. I, p. 363. Paris, Hermann, 1911.

que toutes les substances de la nature sont sensibles à l'action magnétique ; qu'elles offrent même à cet égard des aptitudes très diverses. Plucker (256) et Faraday (257), en vue de contrôler ce fait, ont entrepris un grand nombre d'expériences sur des corps solides et liquides. Malgré la diversité des méthodes employées, tous deux sont arrivés à cette même conclusion, que chaque corps examiné possède un magnétisme spécifique.

Il est même probable qu'il n'existe aucune substance diamagnétique, au sens rigoureux du terme, et que les répulsions diamagnétiques qui se remarquent chez certains corps, proviennent de ce que ces corps sont moins magnétiques que l'air ou le milieu qui les environne. Cette hypothèse, combattue par Tyndall, a été confirmée par Parker et Duhem (258).

« Le contraste que l'on croit voir au début, écrit Mach, n'est pas forcément réel. On ne considère plus aujourd'hui le magnétisme et le diamagnétisme comme opposés l'un à l'autre, mais l'on y voit simplement des degrés différents de magnétisme par rapport à un milieu répandu partout » (259).

Le magnétisme a des analogies frappantes avec l'électricité statique (260). Aussi beaucoup de physiciens modernes le regardent comme une manifestation particulière de la force électrique. (261).

§ 4

Le mécanisme en physique

113. Conclusion générale. — De l'étude des phénomènes physiques découle une conclusion qu'il importe de souligner : tous

(256) *Annales de chimie et de physique,* t. III, p. 138.

(257) *Bibl. de Genève,* t. XXIII, p. 105 et *Rech. expérim.,* t. III, p. 497.

(258) Cfr. Eric Gérard, *Leçons sur l'électricité,* t. I, p. 75. Paris, Gauthier-Villars, 1895.

(259) Mach, *La connaissance et l'erreur,* p. 293. Paris, Flammarion, 1908.

(260) L'hypothèse qui tend à ramener les phénomènes magnétiques à des phénomènes électriques, est due à Ampère. Elle est encore la plus accréditée à l'heure présente. A en croire la théorie, les particules des aimants seraient entourées de petits courants circulaires qui s'enchevêtrent dans toutes les directions, de sorte que la résultante de leur action électromagnétique est nulle. Mais sous l'influence d'un aimant ou d'un courant énergique, ces courants s'orientent et prennent une position d'équilibre conformément aux lois de l'électrodynamique. — « L'hypothèse d'Ampère, vieille de près d'un siècle, a subi avec succès, dit M. Bouty, l'épreuve du temps. Elle subsistera dans ce qu'elle offre d'essentiel. » Bouty, *La vérité scientifique,* p. 249. Paris, Flammarion, 1908.

(261) Pour l'étude du magnéton ou de l'unité magnétique, Cfr. Weiss, *Les moments magnétiques des atomes et le magnéton,* p. 133. (Les idées modernes). Paris, Alcan, 1913. — Weiss, *Le magnéton (Revue générale des Sciences,* 15 janvier, 1924), pp. 12-24.

les corps de la nature sont caractérisés par un ensemble de propriétés qui leur donnent une place déterminée dans l'échelle des êtres. Etat naturel, densité, forme cristalline, propriétés relatives au son, à la chaleur, à la lumière, au magnétisme et à l'électricité, voilà autant de critériums de spécification au service du physicien.

114. Echec du mécanisme sur le terrain de la physique. — S'il faut en croire ce système, la spécificité de tous ces phénomènes n'aurait d'autre cause qu'une simple différence de masse et de mouvement.

Considérons d'abord les *propriétés spectrales.*

Pour qui regarde le composé chimique comme une individualité nouvelle, issue de la transformation profonde de ses composants, il paraît très naturel que cet être nouveau possède aussi un spectre propre, irréductible soit à une superposition, soit à un simple enchevêtrement des spectres élémentaires. Les propriétés optiques ne sont-elles pas un des plus fidèles reflets de l'espèce minérale ?

Mais sans vouloir actuellement trancher cette question épineuse de la nature des composés chimiques, admettons même que tout composé soit un agrégat. N'est-il pas étonnant que l'atome des corps simples et la molécule de la combinaison chimique soient toujours animés de ces mouvements spéciaux qui déterminent leur spectre spécifique ? Le mécanisme se refuse, et il le doit d'ailleurs, à admettre une connexion nécessaire entre la particule matérielle et les mouvements dont elle est le support. Comment donc se fait-il que malgré les collisions atomiques et moléculaires ce lien ne soit jamais brisé, ou plutôt que ce groupe de mouvements persiste inaltéré ? La constance et la spécificité du phénomène semblent bien peu se concilier avec pareille hypothèse où la matière homogène devrait se montrer complètement indifférente à l'égard des mouvements que le hasard des rencontres peut y faire naître.

Quant aux *autres propriétés physiques,* la théorie se heurte à des difficultés non moins graves.

De même que les forces chimiques, ces énergies présentent incontestablement un aspect mécanique qui permet aux hommes de science de les jauger, d'en déterminer l'intensité relative. Mais s'autoriser de ce fait pour supprimer leur caractère qualitatif et les réduire aux modalités du mouvement local, c'est mutiler les données de l'expérience et contredire aux principes les mieux établis de la métaphysique.

D'abord, nous le prouverons bientôt, le mouvement n'est jamais engendré par le mouvement ; ils est l'effet direct d'une cause distincte de lui, d'une qualité proprement dite (262). Si nos forces

(262) Voir plus loin l'article IV : *Le mécanisme au point de vue philosophique.*

physiques n'avaient d'autre nature que l'être mobile du mouvement, il leur serait impossible de produire cette infinie variété de phénomènes dont le monde est le théâtre ; et l'univers, privé de tout principe de changement, se verrait bientôt condamné à un état de mort ou d'immobilité absolue.

En second lieu, quelle que soit l'opinion que l'on partage sur la constitution de ces phénomènes, leur invariable récurrence au sein des transformations incessantes de la matière, continue à s'imposer comme un fait, dont le savant, pas plus que le philosophe, ne saurait se désintéresser. Qui de nous, en effet, n'a éprouvé un sentiment d'étonnement devant cette réapparition constante des mêmes corps, avec le même groupe de propriétés, groupe si bien déterminé qu'il suffirait à un physicien, assez expert dans l'étude de la matière, d'en connaître une seule pour donner le signalement complet de l'espèce à laquelle elle appartient ?

De plus, fait plus déconcertant encore, bien que plusieurs de ces propriétés soient indépendantes les unes des autres et puissent dès lors subir isolément des modifications profondes (263), elles se retrouvent toujours unies en un faisceau indissoluble où chacune d'elles, soit par son degré d'intensité, soit par ses conditions d'activité, soit par d'autres traits distinctifs, nous apparaît comme le rayonnement visible de la nature corporelle qu'elle affecte.

Or, cette connexion de fait qui relie invariablement tel groupe de propriétés indépendantes à telle substance déterminée, ne se conçoit plus dans l'hypothèse d'une matière homogène (264).

Ou bien la matière manifesterait partout et toujours les mêmes exigences ; ou bien elle se montrerait indifférente à recevoir tel faisceau de qualités accidentelles plutôt que tel autre.

Dans ce second cas, rien ne s'oppose à ce qu'une même substance, par exemple l'hydrogène, revête successivement les propriétés de l'azote, du carbone ou de n'importe quel corps. Il peut même se faire qu'elle soit totalement dépouillée de toutes ses notes qualitatives.

Dans le premier cas, on ne voit plus pourquoi tel corps serait toujours doué de tel groupe de propriétés de préférence à tout

---

(263) L'expérience prouve que des pertes même considérables de chaleur, d'électricité, de mouvements mécaniques n'entraînent pas nécessairement des changements appréciables dans la chaleur spécifique, le magnétisme, le pouvoir rotatoire, etc., des composés chimiques.

(264) Il importe de distinguer l'homogénéité foncière de tous les corps chimiques, admise par les mécanistes, avec l'homogénéité de la matière au sens des physiciens modernes et qui consiste plutôt dans une communauté d'origine des espèces chimiques actuelles. Rattacher aux protons et aux électrons la formation de tous les atomes et molécules des composés n'implique nullement, comme une conséquence nécessaire, l'identification essentielle de toutes ces particules matérielles.

autre, puisque l'homogénéité de la matière est incompatible avec des exigences spécifiques.

Enfin, à raison de leur indépendance mutuelle, les mouvements adventices qui, d'après la théorie, constituent toute la réalité des forces physiques, seraient susceptibles d'altérations individuelles qui viendraient constamment transformer la physionomie de l'ensemble. Car cette hypothèse doit admettre la possibilité de modifications partielles et profondes, même en dehors de toute combinaison chimique. Or, jamais nous ne constatons ce fait.

Il est un moyen d'échapper à cette conséquence : c'est de supposer que le faisceau total des propriétés distinctives a sa cause nécessitante et unitive dans le fonds spécifique des êtres.

Mais cette supposition même est la négation formelle du dogme fondamental du mécanisme.

ARTICLE III

Faits de l'ordre mécanique

Les faits qu'il nous reste à examiner, appartiennent peut-être davantage à la physique qu'à la mécanique. Nous avons préféré les classer sous cette nouvelle rubrique, parce que l'interprétation qu'on en a donnée, s'inspire d'une théorie empreinte du plus pur mécanisme, la théorie des chocs, et constitue à la fois l'un des plus vigoureux efforts qui aient été tentés pour le triomphe du système.

« L'action par le choc, dit M. Meyerson, constitue l'élément essentiel, non pas de la théorie des gaz seule, mais de toute théorie corpusculaire » (265).

§ 1

La théorie cinétique des gaz

115. Exposé de la théorie. — Cette hypothèse a surtout pour but de rendre compte des propriétés caractéristiques de l'état gazeux, notamment de la pression constante que tout gaz exerce, dans des conditions identiques, sur les parois du vase qui le contient.

Elle repose sur les postulats suivants :

1° Un gaz est composé de particules solides, indestructibles, douées d'une masse et d'un volume constants.

2° Ces particules jouissent d'une élasticité parfaite.

3° Elles sont animées d'un mouvement perpétuel, et n'exercent, sauf à de très petites distances, aucune influence les unes sur les autres, de sorte que leurs mouvements restent toujours libres et par conséquent rectilignes (266).

Pour se faire une idée exacte d'un corps gazeux, il faut se le représenter comme un fourmillement de particules solides, distantes et indépendantes les unes des autres, se mouvant en ligne droite, déviant sans doute à chaque rencontre, mais sans amoindrir l'intensité de leurs mouvements.

Ces conditions admises, la pression qu'exercent les gaz sur

---

(265) MEYERSON, *Identité et réalité*, p. 63. Paris, Alcan, 1912.

(266) CLAUSIUS, *Théorie mécanique de la chaleur*, t. II, pp. 186 et suiv. *(Mémoire sur les mouvements moléculaires)*. Paris, Hetzel. — H. POINCARÉ, *Science et méthode*, pp. 274-275. Paris, Flammarion, 1909.

les parois du bocal où ils sont retenus captifs, s'explique, dit-on, avec la plus grande facilité. Elle est simplement le résultat des chocs innombrables que ces parois reçoivent des particules en mouvement. Comme le nombre de chocs est toujours sensiblement le même, lorsque les conditions physiques restent identiques, on comprend que la pression demeure constante.

Telle est l'hypothèse imaginée par les Bernouilli, développée plus tard par Krœnig, Clausius, Maxwell et O. E. Meyer, admise enfin par beaucoup de physiciens, sous le nom de « théorie cinétique des gaz », comme le type idéal de la théorie physique.

116. Critique de cette théorie. — Comme le remarque avec beaucoup de sagacité le physicien Stallo, des trois propositions sur lesquelles s'appuie la théorie cinétique des gaz, il n'en est aucune qui soit prouvée par l'expérience. C'est un premier motif de légitime défiance. Cependant, pour être arbitraire, il ne s'ensuit pas que l'hypothèse est nécessairement erronée.

Passons donc sur ce premier reproche et examinons de plus près le second postulat.

Il est clair que les mouvements cesseraient bien vite, si les particules gazeuses n'étaient parfaitement élastiques (267). A chaque rencontre, ils subiraient en effet une diminution progressive, comme nous le montre le choc des corps durs, et la pression qui se trouve intimement liée à ces mouvements partagerait le même sort.

A moins de se détruire elle-même, la théorie se voit ainsi forcée d'attribuer aux particules une élasticité parfaite.

Mais ce postulat crée au système mécanique de grosses difficultés.

Représentons-nous deux atomes élastiques de même masse, se déplaçant avec la même vitesse et en sens opposé, se rencontrant enfin suivant leur axe de translation et leur centre de gravité.

Arrivés en contact (268), ils appuient l'un sur l'autre jusqu'au moment où viennent à cesser leurs mouvements respectifs. Comme ils doivent rebrousser chemin et reprendre une direction opposée à celle qu'ils avaient suivie, il faut bien que, pendant un instant,

---

(267) H. Poincaré, *Les hypothèses cosmogoniques*, p. 90. Paris, Hermann, 1911.

(268) Pour éviter le mystérieux principe qu'on appelle *force* d'élasticité, certains auteurs invoquent un fait qui paraît démontrer qu'il ne se produit jamais de contact réel entre deux corps. « Quand un corps en a choqué un autre, écrit M. Meyerson, il semble l'avoir touché, mais ce n'est qu'une apparence. En réalité, au moment même du choc, les particules les plus voisines de l'un et de l'autre sont restées séparées par des espaces tout à fait appréciables. On connaît le phénomène qui se produit quand on presse une lentille contre une plaque plane, et qu'on désigne sous le nom d' « anneau de Newton ». La coloration de ces anneaux permet de calculer l'épaisseur de la couche intermédiaire. Au centre, là où cette épaisseur est la plus réduite, il se produit une tache noire. C'est le « contact optique » ;

ces deux masses s'arrêtent, c'est-à-dire ne soient animées ni d'un mouvement progressif, ni d'un mouvement de recul. En d'autres termes, il faut que le mouvement des atomes qui renaît après leurs chocs réciproques, soit toujours précédé d'une période très courte de repos absolu (269).

Or, si l'immobilité complète précède, ne fût-ce que d'un instant, les deux mouvements en arrière, il est impossible que ces mouvement *nouveaux* proviennent d'un autre mouvement.

Dès lors, pour ne pas admettre un effet sans cause, on se voit obligé de recourir à un pouvoir dynamique essentiellement distinct du mouvement, intrinsèque aux atomes, et un mot, à la *force d'élasticité.*

La théorie cinétique des gaz, inventée pour effacer du domaine scientifique les derniers vestiges des forces occultes, aboutit de la sorte à en établir l'existence (270).

Cette difficulté soulevée par le physicien Hirn a-t-elle été résolue par les récents progrès de la science ? Nous ne le croyons pas.

A l'heure présente, il est vrai, l'atome n'est plus considéré comme une masse continue, mais comme un petit monde formé d'un noyau positif et d'un nombre plus ou moins grand d'électrons. Or, dans cette hypothèse, la nécessité d'un principe dynamique distinct du mouvement paraîtra peut-être moins évidente. Ne pourrait-on pas soutenir, en effet, qu'au moment du choc l'atome voit diminuer son volume par suite du rapprochement mutuel des sous-

---

mais ce n'est pas encore un contact réel. On peut rapprocher davantage les deux corps, mais alors il y a adhésion ». MAXWELL, *On Action at a Distance (Scientific Papers,* vol. II, p. 314. Cambridge, 1890). Cité par MEYERSON, *Identité et réalité,* p. 70. Paris, Alcan, 1912.

A notre avis, le fait invoqué ne résout nullement la difficulté. En effet, de deux hypothèses, l'une : ou bien le contact a lieu, non pas entre les deux corps qui se choquent, mais entre le milieu réel interposé et chacun des deux corps. Dans ce cas, la difficulté reste entière : l'élasticité du milieu réel et l'élasticité des corps ne sont qu'un seul et même problème à résoudre.

Ou bien le contact n'a pas lieu, et dans cette hypothèse, il faut attribuer aux corps et au milieu interposé si on en suppose l'existence, une force réelle de répulsion, agissant à distance et essentiellement distincte du mouvement local, car un mouvement local n'est pas concevable en dehors de la matière.

Si donc deux corpuscules matériels se repoussent en vertu de leurs mouvements, cette action ne peut avoir lieu qu'au contact.

(269) HIRN, *Analyse élémentaire de l'univers.* p. 237. Paris, Gauthier, 1868. — Cfr. DRESSEL, *Lehrbuch der Physik.* S. 110. *Die Stosswirkungen,* Freiburg, 1895.

(270) A la théorie cinétique des gaz, Clausius s'est efforcé de rattacher la théorie de la formation des vapeurs. Plus tard, les partisans de la mécanique chimique en firent l'application à la *dissociation des vapeurs* ou à l'équilibre mobile entre la combinaison et la décomposition. On trouvera une excellente critique de ces essais dans le travail de M. DUHEM : *Le mixte et la combinaison chimique.* Paris, Naud, 1902.

atomes qui le composent, et qu'il reprend son volume primitif dès que la pression externe a cessé ? On éviterait ainsi, semble-t-il, toute intervention de l'élément « force ».

En fait, il n'en est rien. La difficulté n'est que reculée, car la question se pose pour les sous-atomes comme elle s'est posée pour les atomes eux-mêmes : d'où vient l'élasticité des particules constitutives de l'atome chimique ? « Ce que nous demanderions, dit avec à-propos M. Meyerson, c'est une théorie nous expliquant *comment* cela peut se faire mécaniquement, sans qu'on ait besoin de doter les molécules d'une force élastique spéciale » (271).

Veut-on attribuer cette élasticité à des mouvements d'un milieu plus ténu ? Il resterait alors à expliquer l'élasticité de ce milieu par un autre milieu plus ténu ; mais quand donc s'arrêter ?

« D'ailleurs, aucun corps solide ne réalise absolument ces conditions, bien que les lois du choc des corps parfaitement élastiques soient très approximativement applicables à l'acier trempé » (272).

« Bien des hypothèses physiques, écrit M. Le Bon, s'évanouiraient probablement si l'expérience pouvait les éclairer. Ces molécules se choquant sans cesse avec la vitesse d'un boulet de canon, sans s'échauffer, grâce à une élasticité qu'il faut supposer infinie, n'ont peut-être qu'une très lointaine parenté avec la réalité. On conserve la théorie parce qu'elle est féconde et qu'aucune expérience possible ne saurait en prouver l'inexactitude » (273).

Lord Kelvin et Hertz ont tenté plusieurs essais remarquables pour justifier l'hypothèse, mais, comme l'a constaté M. Boltzmann (274), le problème soulève d'énormes difficultés.

Après avoir relevé plusieurs incompatibilités réelles de la théorie cinétique avec certains faits physiques, M. Bauer ne craint pas de conclure que « l'insuffisance de la théorie cinétique et la nécessité d'une modification radicale de certaines de nos idées sur la matière et l'énergie ont été démontrées, d'une façon plus manifeste encore, par les recherches récentes sur les chaleurs spécifiques des éléments cristallisés » (275).

Pour H. Poincaré : « La théorie cinétique des gaz a donné lieu à bien des objections auxquelles on pourrait difficilement répondre si l'on avait la prétention d'y voir la vérité absolue. Mais toutes ces objections n'empêchent pas qu'elle ait été utile et qu'elle

---

(271) Meyerson, *Identité et réalité*, p. 65. Paris, Alcan, 1912.
(272) Bouty, *La vérité scientifique*, p. 199. Paris, Flammarion, 1908.
(273) Le Bon *L'évolution des forces*, p. 61. Paris, Flammarion, 1912.
(274) Boltzmann, *Leçons sur la théorie des gaz*, vol. I, p. 3. Paris, 1902.
(275) Bauer, *Les quantités élémentaires d'énergie. (Les idées modernes sur la constitution de la matière.* Paris, Gauthier-Villars, 1913), p. 123.

l'a été en particulier en nous révélant un rapport vrai et sans elle profondément caché, celui de la pression gazeuse et de la pression osmotique » (276). On pourrait ajouter : parmi les théories physiques abandonnées, y en a-t-il une seule qui n'ait rendu des services à la science ? L'utilité temporaire d'une théorie ne nous donne pas la garantie de sa validité.

M. Bouty concède aussi que la théorie cinétique se heurte à des obstacles sérieux. « Il se peut, dit-il, qu'ils soient insurmontables, que le mouvement et ses lois ne suffisent pas à l'explication du monde. » Il ajoute : « la théorie cinétique pourrait être définitivement abandonnée, sans entraîner dans sa ruine les principes de la thermo-dynamique, ni une seule des conséquences qu'on est en droit d'en tirer » (277).

Citons enfin l'opinion de M. Duhem : « Il semble bien que les partisans les plus convaincus de l'hypothèse cinétique, et en particulier l'illustre Boltzmann, aient renoncé à ramener ce chaos à l'ordre et à l'unité, à tirer de cette hypothèse, une doctrine cohérente, conforme à tous les faits révélés par l'étude des gaz parfaits. Ils paraissent se résigner à ne voir dans les diverses formes de la théorie cinétique, que des exemples mécaniques qui *imitent* certaines propriétés des gaz, mais qui n'en *expliquent* point la constitution réelle » (278).

117. Echappatoire du P. Secchi. — La grosse difficulté que soulève, en théorie mécanique, l'hypothèse de l'élasticité parfaite des molécules gazeuses n'avait pas échappé à la perspicacité du savant astronome. Aussi essaya-t-il d'une nouvelle hypothèse pour tirer la théorie de sa situation critique.

En général, les physiciens regardent l'élasticité parfaite comme une condition indispensable de la conservation intégrale des mouvements atomiques.

Cette fiction est-elle bien nécessaire à l'explication scientifique des faits ?

Nullement, répond le P. Secchi. « Parmi les beaux théorèmes découverts par Poinsot sur la théorie du choc des corps en rotation, se trouve, dit-il, celui relatif à la réflexion contre un obstacle résistant. Il nous apprend que par la seule rotation, un *corps dur* et *non élastique* peut rebondir absolument comme un corps élastique ; il y a mieux : un de ces corps, lancé contre un ob-

---

(276) H. Poincaré, *La science et l'hypothèse*. p. 192. Paris, Flammarion.

(277) Bouty, *La vérité scientifique*, pp. 298-299. Paris, Flammarion, 1908. — Henriquez, pp. 196 et suiv. Paris, Flammarion, 1913. Voir chez cet auteur les diverses modifications qu'a subies l'hypothèse et la preuve de leur incompatibilité avec le mécanisme cartésien.

(278) Duhem, *L'évolution de la mécanique*, pp. 100-101. Paris, Joannin, 1903. — *Le mixte et la combinaison chimique*, Paris, Naud, 1902.

stacle fixe, est souvent renvoyé avec une vitesse supérieure à sa vitesse initiale... Ce phénomène, paradoxal en apparence, est dû à la transformation d'une partie du mouvement rotatoire en mouvement de translation... Un choc, quel qu'il soit, ne peut annihiler en même temps les deux mouvements de rotation et de translation... La quantité de mouvement perdue d'un côté sera gagnée de l'autre. »

L'hypothèse est certes ingénieuse. Malheureusement, dans son enthousiasme pour le mécanisme, le savant auteur qui avait su tirer si bon parti des découvertes de Poinsot, ne leur avait emprunté que les données favorables à son système, sans se préoccuper de certaines réserves qui devaient rendre à jamais infructueux ses courageux efforts.

Lorsque ces cas de répulsion parfaite se présentent, avait dit le physicien français, il y a toujours une perte d'un tiers ou de deux tiers du mouvement rotatoire, perte qui n'est compensée par aucun accroissement de vitesse de translation. Il y a même des cas de choc dans lesquels le mouvement de translation et le mouvement de rotation disparaissent simultanément (279).

Ces correctifs, on le voit, sont le coup de grâce de l'hypothèse subsidiaire du P. Secchi. Car si le choc des corps durs entraîne toujours une perte réelle de mouvement, les molécules gazeuses, dépourvues d'élasticité, passeraient finalement au repos, et la pression qui ne relève que du bombardement effectué par ces molécules disparaîtrait aussi sans retour.

§ 2

La pesanteur

118. Conception mécanique de la pesanteur. — La matière attire la matière proportionnellement aux masses, mais en raison inverse du carré de la distance. Telle est la loi de l'attraction universelle formulée par Newton.

Tel était aussi jusqu'en ces dernières années, le résumé de toutes les connaissances que l'on possédait sur cette force mystérieuse. « Les progrès de la physique moderne, écrivait M. Lorentz, sont longtemps restés à peu près infructueux pour la théorie de la gravitation, et cette force universelle est aujourd'hui aussi mystérieuse qu'elle l'était il y a deux siècles » (280).

La théorie mécanique dont les aspirations tendent à une simplification toujours croissante des agents naturels, a essayé de

(279) Cfr. STALLO, *La matière et la physique moderne*, p. 88.

(280) LORENTZ, *La gravitation :* article paru dans la *Scientia*, avril 1914, vol. XVI, n. XXXVI-4, p. 28. — La pesanteur, on le sait, est douée de

les réduire à cette formule générale. Et conformément à ces vues simplistes, l'attraction universelle porte le nom de *gravitation*, en tant qu'elle règle le mouvement des corps célestes ou maintient l'harmonie dans leurs relations mutuelles.

On l'appelle *pesanteur*, si elle attire vers le centre de la terre les corps répandus à sa surface ou placés dans son voisinage immédiat.

Les physiciens la désignent par le mot *cohésion*, lorsqu'elle sert à maintenir l'union, soit entre les molécules des corps homogènes, soit entre des quantités quelconques de substances diverses.

Pour le chimiste, elle devient l'*affinité* si elle fusionne dans une synthèse apparemment homogène, les molécules ou les atomes des corps hétérogènes (281).

Bref, toutes les forces de la nature se concrétisent de la sorte en des modalités de l'attraction universelle (282).

On comprend quel vif intérêt devait s'attacher à tout essai d'explication mécanique de la pesanteur. Rendre compte de cette propriété de la matière par les seuls facteurs de masse et de mouvement, n'est-ce pas justifier le mécanisme dans le triple domaine de l'astronomie, de la physique et de la chimie ?

De fait, des théories multiples ont été inventées pour réaliser ce but (283).

---

caractères exceptionnels : ni la lumière, ni l'électricité, ni la chaleur n'ont d'influence sur son action, ou sur sa direction. Elle ne subit ni réflexion ni réfraction ; elle est indépendante de la structure des corps ; elle pénètre à travers toutes les substances corporelles, quelle que soit leur masse ou leur densité ; enfin elle est inépuisable. A tous ces points de vue, elle n'est comparable à aucune autre force physique.

(281) Cfr. BERTHOLET, *Essai d'une statique chimique*. — WURTZ, *La théorie atomique*. — « La cohésion, écrit le Dr de Thierry, paraît être un mode de l'attraction universelle s'exerçant, non plus entre des masses à toutes les distances, mais entre des particules à très courte distance, et avec d'autant plus d'énergie que les centres d'action sont plus rapprochés. La cohésion n'est par conséquent que l'infiniment petit de l'attraction universelle. Et l'affinité serait un infiniment petit de second ordre. » Cfr. *Introduction à l'étude de la chimie*, p. 18. Paris, Masson, 1906. — « De ce phénomène si simple en apparence, bien que si peu expliqué, dit M. Le Bon, résultent la marche des astres, et suivant certains physiciens, toutes les forces de l'univers y compris celles qui présidèrent à la formation de notre système solaire. » *L'évolution des forces*, p. 344. Paris, Flammarion, 1912.

(282) H. POINCARÉ, *La valeur de la Science*, p. 172. Paris, Flammarion, 1908. « La loi suivant laquelle cette force (la pesanteur) varie en fonction de la distance, n'est peut-être pas la loi de Newton (variation en raison inverse du carré des distances), mais c'est une loi analogue ; au lieu de l'exposant — 2, nous avons probablement un exposant différent, et c'est de ce changement d'exposant que sort toute la diversité des phénomènes physiques, la variété des qualités et des sensations, tout le monde coloré et sonore qui nous entoure, toute la Nature en un mot. »

(283) La tendance générale actuelle est de ramener l'attraction newtonienne aux phénomènes électriques. Cfr. NERNST, *Traité de chimie générale*, t. I, p. 460. Paris, Hermann, 1911. — M. GAUTIER regarde comme probable l'hypothèse qui place la cause explicative de la pesanteur dans les

La plus célèbre est la théorie des chocs de Lesage.

« L'espace, dit-il, est constamment traversé dans toutes les directions par des courants de corps infiniment petits, se mouvant avec une vitesse presque infinie et venant des régions inconnues de l'univers. Ces corps sont appelés « corps ultramondains ».

« En raison de leur petitesse, ils se choquent rarement ou jamais, et le plus grand nombre d'entre eux trouvent facilement passage à travers les corps sensibles ordinaires ; de sorte que toutes les parties de ces corps — celles de l'intérieur aussi bien que celles de la surface — sont également capables d'être frappées par les corpuscules, la force du choc étant ainsi proportionnelle, non aux surfaces, mais aux masses des corps. Un corps élémentaire ou une molécule serait également battue par ces corpuscules dans tous les sens ; mais deux corps quelconques agissent mutuellement comme écrans, de sorte que chacun reçoit un moins grand nombre de chocs du côté qui regarde l'autre. Par conséquent, ils sont attirés l'un vers l'autre. Le mouvement des corpuscules étant rectiligne dans toutes les directions, la diminution de pression qui en résulte est inversement proportionnelle aux carrés des distances entre les corps affectés » (284).

La théorie de Lesage, on le voit, répond adéquatement aux exigences du mécanisme ; elle élimine l'élément force au profit du mouvement pur et simple (285).

119. L'hypothèse résout-elle le délicat problème de la pesanteur ? — A peine avait-elle vu le jour, que Maxwell la soumettait à l'épreuve du principe de la conservation de l'énergie.

Si les corpuscules qui heurtent les corps sensibles, écrit ce physicien, sont parfaitement élastiques et rebondissent avec la même vitesse qu'ils avaient en s'en approchant, ils emportent avec eux toute leur énergie native. Mais comme ils rebondissent du corps dans une direction quelconque, ils seront en même nombre

---

mouvements giratoires de l'éther. Cfr. *Revue scientifique,* 13 janvier 1904. — Voir opinion de CHWOLSON, *Traité de physique,* t. I, p. 189.

(284) LESAGE, *The Unseen Universe,* § 140. — Résumé par STALLO dans son ouvrage *La matière dans la physique moderne,* p. 42.

(285) « Une autre hypothèse, qui fut célèbre, écrit L. Poincaré, avait été imaginée par Lesage, de Genève ; Lesage supposait l'espace traversé en tout sens par des courants de corpuscules *ultramondains ;* cette hypohèse, combattue par Maxwell, était intéressante ; on pourrait peut-être la reprendre aujourd'hui, et il ne serait pas impossible que l'assimilation de ces corpuscules aux électrons fournît une image satisfaisante. » *La physique moderne,* p. 195. Paris, Flammarion, 1909. — Voir aussi H. POINCARÉ, *Science et méthode (La théorie de Lesage),* pp. 263-271. Paris, Flammarion, 1909. Après avoir exposé la théorie de Lesage, ce savant examine les modifications récentes qu'y ont apportées certains physiciens, et il conclut : « Les théories nouvelles ne sont pas encore démontrées ; il s'en faut de beaucoup... De nouvelles expériences nous apprendront, sans doute, ce qu'on en doit définitvement penser. »

et auront la même vitesse que les corpuscules qui tendent vers le corps : l'action gravitative deviendra nulle.

D'autre part, si les atomes propulseurs sont inélastiques, ou imparfaitement élastiques, l'énergie des chocs se convertira totalement ou partiellement en chaleur, et, sous l'influence de la quantité de calorique ainsi dégagée, tous les corps seraient, en peu de temps, chauffés à blanc (286).

D'après Thomson, « il n'est pas nécessaire de supposer que l'énergie des corpuscules se transforme en chaleur ; nous pouvons nous figurer qu'elle se transforme en une radiation très pénétrante qui s'échappe du corps gravitant... remplacer, par conséquent, les corpuscules de Le Sage par des rayons Röntgen. Si ceux-ci étaient absorbés, ils communiqueraient une quantité de mouvement aux corps qu'ils traverseraient, et des considérations semblables à celles présentées par Le Sage montreraient que les deux corps s'attirent en raison inverse du carré de leur distance. » Seulement, l'auteur lui-même en fait la remarque, « comme dans le cas des corpuscules de Le Sage, l'absorption d'énergie par ces rayons, doit être, si on la considère comme cause de la gravitation, énorme, tellement énorme que l'énergie émise par le radium ne serait qu'une fraction infiniment petite de l'énergie transformée dans son intérieur » (287).

Or, on sait combien cette dernière énergie est déjà fantastique.

La critique de Maxwell était de nature à ébranler jusque dans ses fondements la théorie naissante. Mais il était réservé à M. Pictet (288) de lui livrer un nouvel assaut qui devait en achever la ruine.

Lorsqu'on admet que les particules matérielles d'un corps solide restent à distance les unes des autres, on peut concevoir que les atomes éthérés puissent pénétrer à une certaine profondeur dans la masse corporelle. Cependant, cette pénétration doit avoir une limite, puisque le nombre d'obstacles qui s'opposent au passage de ces corpuscules, s'accroît avec l'épaisseur des couches solides. Les dernières couches sont donc moins frappées par les atomes propulseurs que les couches voisines de la surface externe. D'ailleurs, s'il en était autrement, l'attraction même n'aurait plus lieu.

Or, dans ces conditions, la pesanteur dépend de la forme des corps, de leur épaisseur, des distances plus ou moins grandes qui séparent leurs molécules constitutives, enfin de leur position

---

(286) Cité par STALLO, *La matière dans la physique moderne*, p. 43.

(287) THOMSON, *Electricité et matière*, pp. 129-130. Paris, Gauthier-Villars, 1922.

(288) R. PICTET, *Etude critique du matérialisme et du spiritualisme*, p. 239. Paris, Alcan, 1896.

relative. Un long cylindre, par exemple, pèserait davantage dans une position horizontale que dans une position verticale. Le poids d'une pile de disques superposés et en contact intime serait inférieur à celui de ces mêmes disques séparés les uns des autres. En un mot, l'attraction ne serait plus proportionnelle aux masses, mais aux masses influencées par leur disposition relative au corps attirant (289).

Conséquence évidemment condamnée par l'expérience quotidienne.

Une autre critique qui certes ne manque pas de valeur, a été faite assez récemment par M. Hannequin.

D'après les calculs de Laplace, l'action de la pesanteur est instantanée, ou bien, elle doit se propager avec une vitesse au moins cinquante millions de fois plus grande que celle de la lumière. Ce fait admis, il paraît impossible d'identifier l'éther gravifique avec l'éther luminique (290), car les particules destinées à vibrer sous l'action de la lumière, rompraient à chaque instant par leur vitesse propre les ondes lumineuses qui tendraient à se former.

« Il y aurait donc, dit M. Hannequin, deux mondes d'une matière identique, soumise aux mêmes lois d'inertie et de mouvement, qui coïncideraient sans se toucher dans un espace unique ; et chacun pour son compte resterait intangible aux chocs des atomes qui ne seraient pas les siens ! A peine est-il besoin d'insister sur le caractère antimécanique d'une telle hypothèse » (291).

Une critique analogue se rencontre chez L. Poincaré : « Si l'on voulait, dit-il, se représenter, par les propriétés mécaniques d'un milieu répandu dans tout l'univers, les phénomènes lumineux, les phénomènes électriques et les phénomènes gravifiques, on serait conduit à attribuer à ce milieu des propriétés fort étranges, et presque contradictoires ; et cependant, il serait encore plus inconcevable que ce milieu fût double ou triple, qu'il y eût deux ou trois éthers occupant chacun l'espace comme si chacun était seul, et se pénétrant, sans exercer d'action les uns sur les autres. L'on est

---

(289) L'hypothèse de Lesage avait été rajeunie par quelques physiciens, notamment par M. PICART. Dans son ouvrage *Introduction aux principes mathématiques des lois générales du monde physique*, c. II. Paris, Alcan, 1882, ce savant remplace les courants des corpuscules *ultramondains* par les mouvements d'un éther élastique renfermé dans les limites de notre monde visible. Il évite de la sorte d'introduire dans notre système matériel, comme l'avait fait Lesage, une source d'énergie étrangère. En somme, l'idée-mère de la théorie restait la même sous sa forme nouvelle, et les critiques que nous venons d'émettre conservent leur à-propos.

(290) D'après M. LANGEVIN, la gravitation ne peut se propager plus vite que la lumière ; telle serait la conséquence de certaines découvertes astronomiques récentes. Cfr. *Revue de métaphysique et de morale*, juillet 1911. — Elle est aussi la conséquence de la théorie de la relativité.

(291) HANNEQUIN, *Essai critique sur l'hypothèse des atomes*, p. 233. Paris, Alcan, 1899.

ainsi, par l'examen attentif des faits, amené plutôt à cette pensée que les propriétés de l'éther ne sont pas entièrement réductibles à la mécanique ordinaire » (292).

D'autres explications mécaniques ont été tentées, notamment par M. Gautier, qui rattache la pesanteur aux mouvements giratoires des édifices atomiques (293).

D'autres auteurs, tel Tommasina, attribuent le rôle des corpuscules de Lesage à des ondes lumineuses venues de tous les points de l'espace et parcourant l'éther dans tous les sens.

Mais, comme le remarque H. Poincaré, « les difficultés inhérentes à l'hypothèse mécanique ne sont pas écartées pour cela... Les calculs ne diffèrent pas essentiellement de ceux qu'on fait dans la théorie ordinaire de Lesage, et le résultat conserve le même caractère fantastique » (294).

Une tendance plus récente fut de ramener l'attraction newtonienne aux phénomènes électriques (295). L'un des essais les plus remarquables est dû à Lorentz (296). Mais sa théorie, qui ne diffère guère au fond de celle de Lesage-Maxwell-Bertholi, a dû être abandonnée par l'auteur même, « qui en aurait été beaucoup plus effrayé s'il avait poussé le calcul jusqu'au bout. Il aurait trouvé que la température de la terre devrait s'accroître de 10^{13} degrés par seconde » (297).

Enfin, une conception nouvelle de la gravitation, due à Einstein, s'est substituée à toutes les théories antérieures ; elle joue un rôle considérable dans la théorie physique de la relativité généralisée. Ce n'est pas le lieu de faire l'exposé de cette conception mathématique. Qu'il nous suffise de mentionner ici les idées relatives au sujet qui nous occupe. Un des résultats les plus importants de cette tentative hardie fut l'identification de la masse et de l'énergie. La masse pesante d'un système isolé, dit Einstein, est nécessairement déterminée par l'énergie de ce système. A l'énergie d'un système isolé appartient aussi l'énergie de son champ de gravitation ; celle-ci doit donc contribuer non seulement à la masse inerte du système, mais encore à la masse pesante... Tout

---

(292) L. Poincaré, *La physique moderne*, p. 197. Paris, Flammarion, 1909.

(293) Gautier, *(Revue scientifique)*, 13 janvier 1904.

(294) H. Poincaré, *Science et méthode*, p. 267. Paris, Flammarion, 1909.

(295) Nernst, *Traité de chimie générale*, t. I. p. 460. Paris, Hermann, 1911.

(296) Cfr. Lorentz, *Mémoire lu à l'Académie des Sciences d'Amsterdam*, 25 avril 1900. — Voir opinion de Chwolson, *Traité de physique*, t. I, p. 189. — Cfr. Henriques, *Les concepts fondamentaux de la science*, pp. 264 et suiv. Paris, Flammarion, 1913.

(297) H. Poincaré, *Science et méthode*, p. 271. Paris, Flammarion, 1909.

processus physique, par le fait que des grandeurs d'énergie lui correspondent, détermine donc un champ de gravitation. D'autre part, le fait que tous les corps tombent de la même manière porte à penser que dans un champ de gravitation les processus physiques s'effectuent exactement comme ils s'effectueraient relativement à un système de référence accéléré (298) ».

Puisque dans le vide tous les corps tombent avec la même vitesse, puisque la pesanteur affecte d'une même vitesse tous les corps voisins les uns des autres, pris dans les mêmes conditions initiales, il est permis d'assimiler la pesanteur à un champ de forces d'inertie, ou de dire que la masse pesante et la masse inerte d'un corps sont toujours identiques. Mais la *pesanteur* n'étant qu'un cas particulier de la *gravitation* universelle, Einstein assimila la *gravitation* elle-même aux effets d'un champ de forces dû à l'inertie. Telle est cette assimilation que, d'après lui, le champ de gravitation agit sur tout, sur la lumière, sur l'énergie, quelles qu'en soient les formes, comme sur les corps pesants. De là son fameux principe : « en chaque point et à un instant donné, ou mieux, en chaque point de l'espace-temps, il y a équivalence entre le champ de gravitation et un certain champ de forces d'inertie, quel que soit le système de référence choisi » (299).

Convaincu que la loi de Newton n'était qu'approchée, Einstein a recherché la loi générale des champs de gravitation, mais pour arriver à ce résultat, le chemin est long et ne peut être décrit que d'une façon tout à fait imparfaite. La loi einsteinienne de la gravitation résume la dynamique tout entière et nous représente la gravitation comme une action se propageant de proche en proche avec la vitesse de la lumière, tandis que Newton supposait une action instantanée ou presque instantanée à toute distance !

Opinion des physiciens sur cette théorie. Compose-t-elle une interprétation purement mécanique ? Peu de théories physiques ont été l'objet de discussions aussi vives et aussi passionnées. Ses succès cependant sont incontestables ; elle a unifié et simplifié la physique en réunissant dans une seule synthèse une somme énorme de faits. Non seulement, elle a pu expliquer ce qu'on connaissait mais elle a permis de prévoir des choses nouvelles.

S'impose-t-elle ?

La vraie attitude à prendre en cette matière nous semble dictée par le jugement que formulait récemment un des mathématiciens les plus distingués de notre époque, M. de la Vallée-Poussin : « La théorie de la relativité restreinte, écrit-il, a les reins solides... Mais

---

(298) Einstein, *Sur le problème de la relativité. (Scientia,* I-V, 1914), pp. 145-149).

(299) Metz, *La relativité*, p. 57. Paris, Chiron, 1923.

il est encore trop tôt, beaucoup trop tôt pour asseoir un jugement définitif sur le témoignage de l'expérience.... La généralité de ses principes devance encore trop l'expérience, enfermée comme elle l'est dans des limites très restreintes, des systèmes particuliers et des conditions trop énigmatiques. La vraie sagesse est dans l'expectative, et le doute est permis. Il y a certainement une part de vérité dans la relativité. Quelle est-elle ? Nous le saurons un jour, mais le jour seulement où nous verrons où commence l'erreur » (300).

Mais si, comme on le dit, le doute est permis au sujet de la validité de la théorie de la relativité restreinte, à plus forte raison doit-il l'être devant la théorie mathématique et autrement hardie de la relativité généralisée ! C'est d'ailleurs l'opinion de nombreux physiciens de marque sympathiques aux idées nouvelles.

Quoi qu'il en soit, la loi générale des champs de gravitation formulée par Einstein n'admet nullement comme postulat la réduction de toutes les forces au mouvement local pur et simple. Veut-on y introduire cette conception mécanique ? Dans ce cas, la théorie prêtera inévitablement le flanc, nous semble-t-il, à plusieurs des critiques dont furent l'objet les hypothèses antérieures.

§ 3

Le principe de la conservation de l'énergie

120. Exposé du principe. — Le principe de la conservation de l'énergie embrasse dans ses applications le domaine de la chimie, de la physique, de la cristallographie, de l'astronomie et même de la physiologie. Bref, il règle sans exception toutes les forces de la nature matérielle. De là sa souveraine importance.

Nous l'exposerons ici sous sa forme la plus simple, en le dégageant des calculs que comprend nécessairement sa formule scientifique (301).

---

(300) DE LA VALLÉE-POUSSIN, *Le temps et la relativité restreinte (Revue des questions scientifiques,* avril 1924, p. 365).

(301) Nous ajouterons quelques notes complémentaires, pour ceux de nos lecteurs qui désireraient se faire une idée plus scientifique de ce principe

La *vitesse* d'un corps en mouvement, c'est l'espace que le corps parcourt pendant l'unité de temps.

On appelle *force* en mécanique, toute cause qui produit, ou tend à produire un mouvement ou une modification du mouvement.

La *masse* d'un corps est la quantité de matière qu'il renferme, évaluée par sa quantité d'inertie, c'est-à-dire par la résistance qu'il oppose à un mouvement déterminé. D'une manière plus abstraite, on la définit encore ; le rapport constant entre la force appliquée à un corps et l'accélération qu'elle lui communique.

Le *travail* d'une force désigne le produit de l'intensité de la force par

L'énergie, en général, désigne l'ensemble des causes qui, dans un système matériel, sont aptes à produire des effets mécaniques.

Les corps peuvent être doués d'énergie, soit qu'on les considère en repos, soit qu'on les considère en mouvement.

La puissance que possède un corps en mouvement de produire un effet mécanique, se désigne sous le nom d'*énergie actuelle.*

Celle que possède un corps, à raison de la position qu'il occupe, s'appelle *énergie potentielle* ou de position (302).

---

le chemin que parcourt son point d'application, lorsque celui-ci est déplacé suivant la direction de la force.

Force vive. — L'intensité d'une force (F) est proportionnelle au produit de la masse *(m)* qu'elle met en mouvement, par la vitesse *(v)*. D'où $F = mv$. Le chemin parcouru *(e)* par une masse *(m)* partant du repos et soumise à une force (F) pendant un certain temps, est égal à la moitié de la vitesse acquise après le parcours. D'où $e = \frac{v}{2}$. Le travail de la force (F) équivaut donc à

$$F \times e = mv \times \frac{v}{2} = \frac{mv^2}{2}.$$

Cette formule $\frac{mv^2}{2}$ exprime la force vive du point *(m)*.

.. *Principe de la conservation de l'énergie totale.* — Si l'on admet que les actions réciproques de deux particules matérielles ont pour mesure le produit des masses par une fonction inconnue de leur distance, le principe de la conservation de l'énergie, appliqué à un système que l'on considère à deux moments différents, peut s'exprimer par la formule suivante :

$$\left(\Sigma \frac{mv^2}{2} + \pi\right) - \left(\Sigma \frac{mv_0^2}{2} + \pi_0\right) = \Sigma TFe.$$

$\Sigma \frac{mv^2}{2}$ représente la somme des forces vives du système matériel considéré au moment final

π est une fonction de la position des points matériels à ce même moment.

$\Sigma \frac{mv_0^2}{2}$ représente la somme des forces vives que possédait le système au moment initial.

π_0 est une fonction de la position initiale des particules.

ΣTFe est la somme des travaux des forces extérieures qui agissent sur le système durant le temps compris entre les deux moments choisis.

π s'appelle l'énergie *potentielle.*

$\frac{mv^2}{2}$ s'appelle l'énergie *actuelle.*

La somme des deux constitue l'énergie *totale.*

Comme l'indique la forme donnée plus haut, la somme des travaux des forces extérieures agissant sur le système, est donc égale à la variation de l'énergie totale de ce système.

Par conséquent, si aucune force étrangère ne vient modifier l'énergie de notre univers, celui-ci, laissé à lui-même, conservera toujours la même quantité d'énergie.

(302) JOUFFRET, *Introduction à la théorie de l'énergie,* p. 51. Paris, Gauthier-Villars, 1883. — Cfr. VERDET, *Théorie mécanique de la chaleur,* t. I, pp. 4-14.

Un poids, par exemple, suspendu à une certaine hauteur, n'est plus dans les mêmes conditions qu'un poids égal placé sur le sol. S'il vient à tomber, il peut actionner une machine, écraser tel obstacle qu'il rencontre sur son passage, s'enfoncer dans le sol qui lui résiste. Dans cette position, le corps, tout immobile qu'il est, possède donc un réel pouvoir dynamique, une énergie tranquille et comme emmagasinée à laquelle on a donné le nom d'*énergie potentielle.*

Mais à mesure qu'il s'éloigne de sa position d'équilibre, et qu'il se rapproche du sol, l'énergie potentielle diminue, car elle est équivalente au produit de la masse du corps par la hauteur de chute. Par contre, l'énergie actuelle augmente proportionnellement et atteint son maximum d'intensité au moment où l'énergie potentielle a complètement disparu, c'est-à-dire au point de rencontre du corps avec la terre (303).

Ces deux quantités peuvent ainsi varier, se substituer l'une à l'autre ; mais tandis que l'une diminue, l'autre gagne exactement ce que la première a perdu, de sorte que la somme des deux énergies, l'actuelle et la potentielle, ou l'*énergie totale,* reste constante, pourvu qu'il n'intervienne aucune force extérieure au système de corps que l'on considère.

Cette proposition a reçu en mécanique le nom de *principe de la conservation de l'énergie.*

Pour faciliter l'intelligence de cette loi, nous avons choisi à dessein un exemple familier, où le changement dans la position relative des corps se trouvait visiblement lié à un changement de forme de l'énergie. L'application du principe est cependant universelle.

Ainsi la lumière, la chaleur et l'électricité en action sont autant d'énergies actuelles. Un ressort de montre tendu possède de l'énergie en puissance. Le charbon enfoui dans les profondeurs du sol et figé, depuis des siècles, dans une immobilité complète, est une source d'énergie tranquille, pour ainsi dire emmagasinée, que la combustion transformera un jour en pouvoir dynamique actuel, sous forme de lumière et de chaleur. Ainsi en est-il des affinités chimiques.

Toutes ces forces peuvent être soumises à des vicissitudes sans nombre, mais aucune de leurs transformations ne saurait changer la dose d'énergie dont l'univers est dépositaire.

Une des tendances de la physique moderne est d'identifier la masse et l'énergie. « Les systèmes matériels, dit Rougier, ne sont eux-mêmes doués de masse qu'en proportion de l'énergie qu'ils

(303) TYNDALL, *La chaleur comme mode de mouvement,* p. 129.

contiennent. La masse devient une grandeur qui mesure leur énergie interne. » (304).

121. Conséquences de l'interprétation mécanique. — N'est-il pas étrange que sur ce terrain, en apparence si favorable, la théorie mécanique doive nous donner une preuve nouvelle de son incohérence ?

S'il n'y a dans l'univers d'autres réalités que la masse et le mouvement communiqué ; si la pesanteur, la gravitation et l'attraction relèvent, comme le dit Saigey (305), du simple ébranlement de l'éther par les corps pesants, ou bien, selon Secchi (306), de la rupture d'équilibre de l'éther due à l'inégale diffusion de ce corps dans l'espace, ou bien encore, ainsi que l'affirment les partisans de Lesage, du bombardement ininterrompu de la matière corporelle par les corpuscules ultramondains, ou enfin, s'il faut interpréter mécaniquement l'hypothèse d'Einstein sur la constitution du champ de gravitation, que devient cette forme tranquille d'énergie qu'on appelle *potentielle ?*

Toute force, tout principe d'énergie résidant dans le mouvement local, le mouvement seul reste susceptible de variation. On le verra se répandre sur des quantités diverses de matière, modifier sa vitesse et sa direction, apparaître enfin sous des modalités multiples. Mais tous ces changements n'engageront que l'énergie actuelle, ou le pouvoir dynamique en action que confère le mouvement.

L'énergie cinétique acquiert seule, de la sorte, droit de cité, tandis que la potentielle se trouve mise au ban de la science.

Cette conséquence, deux physiciens de marque, Tait et Stewart, n'hésitent pas à la reconnaître : « Si la théorie de Lesage, ou toute autre analogue, est une représentation du mécanisme de la gravitation, un coup fatal est porté à cette forme tranquille de force motrice que nous avons appelée *énergie potentielle* » (307).

« Le principe de la conservation de l'énergie, dit Jouffret, deviendrait celui de la conservation de la force vive » (308).

Telle est aussi l'opinion de M. Pictet : « Dans la théorie mécanique, écrit-il, toutes les énergies sont actuelles ; le potentiel n'est qu'une modification de la vitesse acquise de certaines masses matérielles » (309).

On nous répondra sans doute : Soit, la formule du principe

---

(304) Rougier, *La matière et l'énergie*, p. 49. Paris, Gauthier-Villars, 1921.

(305) Saigey, *La physique moderne*, p 145.

(306) Secchi, *L'unité des forces physiques*, p. 522 et passim.

(307) *The Unseen Universe*, § 142.

(308) Jouffret, *ouv. cité*, p. 73.

(309) Pictet, *Etude critique du matérialisme et du spiritualisme*, p. 241.

doit être modifiée, ou plutôt, elle doit recevoir dans notre système une acception nouvelle. Mais sous sa forme rajeunie, le principe ne garde-t-il pas toute sa portée scientifique ? Cesse-t-il d'être une loi rigoureuse de la nature ?

Nous accordons volontiers que l'expression et la teneur des lois physiques doivent se plier aux exigences des découvertes. Toutefois, dans l'occurrence, y a-t-il un seul fait qui légitime l'abandon de la formule primitive ?

Que d'hypothèses, au contraire, hasardées et même arbitraires, ne faut-il pas imaginer pour réduire toute l'énergie de l'univers à la forme de l'énergie cinétique !

La pesanteur, par exemple, se résout en une multitude incalculable de mouvements invisibles, tendant à pousser les corps apparemment immobiles vers le centre de la terre. Or, nul n'a prouvé l'existence de ces mouvements, et toute tentative entreprise pour en expliquer l'origine et la perpétuité a complètement échoué (310).

L'affinité chimique avec ses imposantes manifestations de chaleur, d'électricité et de lumière, ne serait aussi qu'une espèce de mouvement atomique. On l'appelle encore, il est vrai, énergie potentielle, parce que les atomes qui en sont le siège, ne peuvent donner lieu à des phénomènes mécaniques aussi longtemps qu'ils ne se trouvent point dans les conditions requises pour la combinaison chimique. Mais, puisqu'elle n'est que du mouvement vibratoire invisible, il faut bien que l'énergie de ce mouvement réponde à l'intensité des phénomènes qui la trahissent. Or, de nouveau, qui donc a constaté la présence, dans ce morceau de cuivre resté immobile depuis des milliers d'années dans un filon cuprifère, de ces prodigieux tourbillons atomiques, qui, selon l'hypothèse, se seraient perpétués à travers les siècles, sans chocs, sans altération, sans perte de vitesse ?

N'est-ce pas l'invisible et l'imaginaire substitués à chaque pas aux causes réelles et si simples que traduisait le mot d'énergie potentielle ?

On rejette les forces occultes, sous prétexte qu'elles ne tombent jamais sous les prises de l'expérience directe. Vraiment, sont-ils moins occultes ces mouvements inconstatables par lesquels on prétend concrétiser le pouvoir virtuel de la pesanteur, de l'affinité chimique et en général de toutes les forces de la nature ?

Enfin, notons encore qu'il importe de se mettre en garde contre une fausse interprétation du principe de la conservation de l'énergie. D'aucuns se sont imaginé que l'énergie se conserve sous tous rapports. C'est là une erreur manifeste.

---

(310) Voir plus haut, n° 119.

Si la *quantité* d'énergie cosmique est invariable, la *qualité* au contraire change constamment ; elle subit une *dégradation* progressive en ce sens qu'elle devient de moins en moins utilisable. Nous exposerons plus loin, dans le chapitre consacré à l'énergétique, ce fait actuellement transformé en loi. Or cette distinction entre *quantité* et *qualité* ne se comprend guère dans un système qui n'admet d'autres différences que des différences quantitatives (311).

---

(311) Cfr. BRUNHES, *La dégradation de l'énergie,* pp. 324-334. Paris, Flammarion, 1908.

« Cette loi, dit M. Boutroux, introduit en physique un élément différent des éléments mécaniques... Les lois physiques ne peuvent donc se ramener aux lois mécaniques ; un élément nouveau intervient : la qualité. Ce n'est plus, sans doute, la qualité scolastique, mais c'est déjà un élément de différenciation et d'hétérogénéité. » Cfr. BOUTROUX, *De l'idée de la loi naturelle,* p. 54. Paris, Société française d'imprimerie, 1913.

Cfr. GOSSARD, *Le sens métaphysique de la loi de la conservation de l'énergie. (Revue de philosophie,* septembre 1913. pp. 119-151).

ARTICLE IV

Le mécanisme au point de vue philosophique

122. Propriétés mécaniques du mouvement. — Nous avons suivi le mécanisme sur le terrain des faits. Il ne nous reste plus, pour en achever l'examen critique, qu'à le soumettre au contrôle des données certaines de la métaphysique.

A ce point de vue, des deux éléments constitutifs du système, il en est un qui mérite une attention spéciale, savoir le mouvement.

On connaît le rôle immense qui lui est assigné dans l'explication mécanique de l'univers :

1° Seul et unique principe de toute activité matérielle, il préside à la genèse de tous les événements et des changements incessants dont le monde est le théâtre.

2° Il revêt dans ses métamorphoses ces multiples modalités que nous appelons chaleur, magnétisme, électricité, lumière et pesanteur.

3° Enfin, grâce à sa facile transmissibilité, il passe inchangé d'un corps à l'autre ou se distribue, au hasard des rencontres, mais d'après les lois du choc, sur des mobiles en repos qu'il transforme en agents mécaniques.

Nous passerons en revue les diverses propriétés dont le mécanisme se plaît à doter le mouvement local. Mais avant de nous engager dans cette étude, il est nécessaire de mettre en lumière la nature intime de cette réalité corporelle.

123. Analyse métaphysique du mouvement local. — Saint Thomas, à la suite d'Aristote, rattache l'idée de mouvement « *motus* » à l'idée plus générale de changement « *mutatio* ».

Nous disons qu'une chose a réellement changé, lorsqu'elle se présente sous une manière d'être différente de celle qu'elle avait auparavant. Le changement implique donc deux termes, dont l'un est le point de départ, l'autre, le point d'arrivée ou terme final. Et pour que le changement soit réel, pour que le sujet passe d'un terme à l'autre, il faut qu'il y ait entre les deux une opposition telle, que l'acquisition de l'un soit inconciliable avec la persistance de l'autre.

Or, il n'y a que deux oppositions possibles : ou bien les deux termes sont contradictoires, ou bien ils sont contraires. De là deux catégories distinctes de changements.

Si les termes sont contradictoires, comme le sont l'être et le

non-être, le passage de l'un à l'autre se fait d'une manière instantanée, car entre les deux, pas d'intermédiaire possible. On a donnè à cette espèce de changement, qui se réalise notamment dans la génération et la destruction naturelle des choses, le nom de changement *instantané.*

Les termes sont-ils opposés comme deux contraires, on comprend qu'entre ces deux extrêmes se trouve nécessairement un intermédiaire, qu'il faudra successivement parcourir pour passer de l'un à l'autre. Le changement de couleur que nous observons chaque année dans le feuillage des arbres à l'approche de l'automne, nous en donne un bel exemple. Entre le vert pur ou sombre de l'été et le jaune safran de l'arrière saison, que de nuances intermédiaires et fugitives ont marqué la douce transition de la vie exubérante de la nature à son état de sommeil hivernal !

Les scolastiques donnèrent à cette espèce de changement le nom de mouvement proprement dit ou *motus.* Il a pour caractère essentiel d'être *successif et continu.*

Trop familiarisés avec la conception mécanique de l'univers, nous sommes tous portés à identifier le terme générique de *mouvement* avec celui de *mouvement local.* L'Ecole lui attribuait cependant une acception beaucoup plus large (312). Elle distinguait, d'après la nature du terme réalisé par le changement, trois espèces de mouvements successifs et continus : le lieu, la quantité et la qualité sont trois réalités distinctes qui se modifient, au même titre, d'une manière graduée et ininterrompue. De là, les trois espèces de mouvements : le mouvement *local,* le mouvement *quantitatif* d'accroissement ou de décroissance, et le mouvement *altératif* ou *qualitatif.*

En faisant abstraction de leurs notes différentielles, Aristote les a définis en une formule restée célèbre. Pour ne rien préjuger, nous en ferons l'application au seul mouvement qui nous intéresse actuellement, c'est-à-dire au mouvement local.

« Le mouvement, dit-il, est l'acte d'un être en puissance en tant qu'il est encore en puissance » (313).

Le mouvement est d'abord un acte, une détermination actuelle, qu'il faut soigneusement distinguer d'une simple puissance d'agir ou de recevoir. Nul ne dira d'une pierre immobile, susceptible d'être lancée dans l'espace, qu'elle possède déjà le mouvement. Elle ne jouit encore que de la puissance d'être mise en mouvement, et celui-ci commencera avec la réalisation de cette même puissance. C'est donc l'actuation d'un être en susceptivité.

---

(312) Cfr. GOSSARD, *La notion péripatéticienne du mouvement. (Revue de philosophie,* août 1914), pp. 163-166.

(313) ARISTOTELES, *Naturalis auscultationis* lib. III, c. I., édit. Didot.

Cependant, cet acte qui fixe le corps dans une position nouvelle et constitue la réalité mobile du mouvement local, ne peut être quelque chose d'achevé ou de complet sous tous rapports. Si nous considérons la pierre qu'on a lancée dans l'espace, au moment où elle occupe déjà, immobile, sa place nouvelle, nous pourrons bien dire qu'elle a été mue, que son mouvement est un fait accompli, mais elle n'est plus *en* mouvement.

Pour la concevoir dans l'état de mouvement, il faut se la représenter comme s'acheminant encore vers une position ultérieure, ou bien, dans une situation quelconque qui n'est plus son point de départ et n'est pas encore son point d'arrivée ou le lieu de son repos.

Bien que déterminé déjà par cette actuation qui lui donne une place nouvelle, le mobile ne nous apparaît donc en mouvement, qu'à la condition de se trouver en puissance réceptive prochaine à l'égard d'une actuation ultérieure.

L'acte constitutif du mouvement se présente ainsi comme une réalité incomplète, affectée d'une double relation : relation avec un sujet récepteur ou mobile qu'elle détermine en le situant dans une nouvelle partie de l'espace ; relation avec un perfectionnement ultérieur, c'est-à-dire, avec les positions nouvelles que le mobile reçoit sans discontinuité.

Cela posé, examinons les diverses propriétés que le mécanisme attribue au mouvement local.

§ 1

Premier principe mécanique : Le mouvement local est une force, une cause capable de produire un effet mécanique

124. Illogisme du mécanisme. — D'abord, s'il est un fait qui doive nous étonner, c'est bien cette proposition placée en tête du mécanisme moderne.

En effet, tandis que les tenants du système sont unanimes à l'élever à la hauteur d'un dogme indiscutable, tous aussi s'accordent à rejeter la théorie du mouvement *absolu* qui peut seule sauvegarder la réalité objective du mouvement local (314).

En physique, en mécanique, et, en général, dans les sciences naturelles, les mécanistes considèrent le déplacement du corps comme un simple changement de relations spatiales. « Le mouvement, disait Descartes, est essentiellement relatif. Tout ce qui est positif

(314) A lire une très intéressante étude de M. DUHEM, *Le mouvement absolu et le mouvement relatif*, notamment les pages 272-281. Montligeon (Orne), 1909.

et réel dans les corps qui se meuvent et qui nous les fait dire en mouvement, se trouve aussi bien dans les corps contigus, qui sont censés rester immobiles » (315).

Au lieu de le regarder comme une réalité mobile et fugitive, destinée à donner aux êtres corporels leurs positions instables et toujours changeantes, la théorie universellement reçue, réduit donc le mouvement à un *changement de relations*. Or, dans ce cas, il est impossible de lui attribuer un être réel.

La distance, qu'est-elle, abstraction faite des termes qui la limitent ? Est-ce une petite entité suspendue ou intercalée entre ses points d'appui ? Evidemment non ; en elle-même, elle n'est rien qu'un rapport possible. D'autre part, les corps qui en fixent les limites n'ont subi, par hypothèse, aucune modification du chef du mouvement, puisque celui-ci se trouve aussi bien dans le corps en repos que dans le corps mû. Quel est donc l'être réel du mouvement relatif ? S'il n'est rien, comment peut-il devenir l'agent unique et universel de tous les phénomènes corporels ?

Toutefois, nous ne voulons accorder à cette critique que la valeur d'un argument *ad hominem*. Car pour nous, le mouvement a sa réalité propre, indépendante de toute relation spatiale. Il consiste dans un accident mobile et incessamment renouvelé, dont le propre est de fixer momentanément le corps dans la série successive des positions instables qu'il parcourt (316).

Afin d'envisager la question sous le jour le plus favorable au mécanisme, nous accorderons au mouvement le maximum de réalité que lui reconnaît la théorie réaliste.

125. Aucun des éléments constitutifs du mouvement ne répond à la notion de force. — D'après la définition donnée plus haut, le mouvement est une synthèse de trois éléments indissolublement unis. Il comprend : 1° un mobile en puissance réceptive ; 2° un acte, une détermination qui perfectionne ou met en valeur la puissance passive du mobile en lui donnant une localisation nouvelle ; 3° la tendance actuelle du mobile, incomplètement satisfaite, à recevoir, *hic et nunc*, d'autres déterminations spatiales.

Or, ni dans ces éléments considérés individuellement, ni dans leur ensemble, n'apparaît le moindre indice d'un pouvoir d'action.

1° Tous les corps ont l'aptitude de passer de l'état de repos au mouvement ; mais, en vertu de la loi d'inertie, tous se trouvent dans l'impuissance radicale de se communiquer à eux-mêmes un mouvement quelconque, de modifier l'intensité ou la direction de

---

(315) CARTESIUS, *Princip. phil.* P. II, n. 30.

(316) Pour l'exposé et la preuve de cette doctrine, cfr. D. NYS, *La notion de l'espace d'après les théories modernes depuis Descartes*, pp. 121-141. Bruxelles, Hayez, 1907. (Mémoire couronné par l'Académie royale de Belgique).

celui dont ils sont éventuellement animés. Cette communication est toujours l'œuvre d'une cause étrangère, si bien qu'à cet égard les corps ne manifestent qu'une mobilité passive, ou mieux, un simple pouvoir réceptif.

Au reste, si cette réceptivité n'était mise par la pensée en connexion avec un commencement d'actuation ou de localisation spatiale nouvelle, elle n'entrerait même pas en ligne de compte dans une définition du mouvement, car elle appartiendrait au même titre à la matière en repos.

Passivité exclusive de tout pouvoir dynamique, tel est le caractère essentiel de ce premier élément constitutif du mouvement.

2° En somme, tout ce qu'il y a de réel dans le mouvement local se résume en cette détermination continue par laquelle le mobile se trouve à chaque instant fixé à des places différentes dans l'espace.

Quel est l'effet propre et immédiat de ces actuations fugitives ? Communiquent-elles au corps la puissance *active* d'acquérir les positions consécutives à celle qu'il possède en les recevant ? S'il en était ainsi, si toute position acquise conférait au mobile le pouvoir efficace de se procurer de lui-même les situations ultérieures, on concevrait que dans le fait d'une rencontre, un corps en action pût communiquer son propre mouvement à la matière en repos. Mais tel n'est pas le résultat de cette détermination. Le corps qui la reçoit acquiert, en la recevant, sa position nouvelle dans l'espace et rien de plus, car la passivité du mobile ne s'étend pas seulement à telle ou telle partie du mouvement local, mais à la totalité des parties spatiales qu'il comprend. Les actuations successives ou localisations nouvelles viennent donc satisfaire partiellement cette aptitude passive, sans en supprimer jamais la passivité à l'égard des actuations ultérieures.

La série des localisations fugitives, acquises par un corps en mouvement, forme de la sorte un tout continu, divisible par l'intelligence en positions multiples, dont l'ensemble toutefois relève forcément d'une cause extrinsèque.

Ici, de nouveau, la passivité inhérente à l'inertie de la matière nous oblige à refuser aux actualités passagères que lui confère le mouvement local, tout pouvoir dynamique réel.

3° Reste le troisième élément ou la tendance du mobile à parcourir de nouveaux espaces.

Les localisations éphémères du mobile ne constituent réellement le mouvement, qu'à la condition de ne jouir d'aucune stabilité, d'être affectées d'un perpétuel devenir dont la réalisation progressive forme ce qu'on peut appeler *le flux continu des positions spa-*

tiales. Sans cette condition, chacune des positions pourrait être regardée comme terme du mouvement ou lieu de repos.

De là la nécessité, si l'on veut qu'elles fassent partie de l'être mobile du mouvement, de supposer dans le corps qui les reçoit, une tendance actuelle à de nouveaux déplacements. Mais cette tendance, nous l'avons vu, ne porte point dans ses flancs le principe d'une action quelconque. Simple puissance passive, elle donne au corps l'aptitude à recevoir, sous l'influence active de la cause motrice extrinsèque, des localisations toujours nouvelles.

Que l'on considère ce pouvoir récepteur au moment où il va s'enrichir de sa première détermination spatiale, ou qu'on le suive à travers le flux continu des positions données au mobile, il reste identique à lui-même, c'est-à-dire apte à recevoir, mais physiquement incapable de communiquer une activité.

D'autre part, les actuations successives qui composent la trame continue du mouvement, n'étant elles-mêmes que des effets, dont aucun n'exerce sur l'autre le rôle de cause, nous en concluons que le mouvement local, aussi bien dans ses éléments individuels que dans sa réalité constitutive intégrale, se trouve impuissant à exercer une influence causale quelconque.

126. Objection tirée de certains faits mécaniques. — Si le mouvement local n'est pas une source de réelle énergie, d'où vient cependant que tout corps en mouvement possède un pouvoir dynamique toujours proportionné, au moins en partie, à l'intensité du mouvement dont il est animé ?

Prenons un exemple : une balle lancée par une arme à feu, traverse l'espace, rencontre sur son parcours une pièce de bois, s'y enfonce et s'arrête immobile à une certaine profondeur. Il s'est produit un effet mécanique considérable ; le bois s'est comprimé pour livrer passage au projectile ; des résistances puissantes ont dû céder le pas à un pouvoir compressif supérieur. De quelle cause relève cet effet ? En l'examinant de près, nous remarquons qu'il coïncide en tous points avec le mouvement du projectile. La perforation du bois est d'autant plus profonde que le mouvement est plus rapide ; elle commence avec lui, et cesse dès que lui-même arrive à son terme. N'est-il pas évident, qu'en lui réside la causalité de l'effet produit ? Au surplus, ce mouvement supprimé, que deviendrait le pouvoir dynamique du projectile ?

127. Explication de ces faits. — Cet exemple et de nombreux cas analogues que la nature nous offre tous les jours, sont vraiment suggestifs. A s'en tenir aux apparences, il paraît naturel d'établir un lien causal entre des phénomènes qui se produisent toujours si étroitement unis et semblent partager les mêmes vicis-

situdes. L'erreur est facile ; bien des hommes de science en ont été les victimes.

Expliquons d'abord le fait. Nous justifierons ensuite notre manière de voir.

Dans ce cas, comme dans tous les phénomènes similaires, l'effet mécanique, croyons-nous, ne relève point du mouvement local, mais d'une force proprement dite, distincte du mouvement.

Au moment où la poudre s'est enflammée dans l'arme à feu, elle a donné naissance à des produits gazeux, qui, tendant à prendre une énorme extension de volume, ont communiqué au projectile une puissante énergie motrice, une impulsion ou mieux une force de projection dont l'effet immédiat fut le mouvement rapide du projectile. Sous l'influence continue de cette *qualité motrice*, la balle lancée dans l'espace conserverait indéfiniment son mouvement de translation, si elle n'avait constamment à lutter contre la pesanteur et la résistance de l'air ; car la force dont elle est animée ne peut être détruite que dans un conflit avec des forces contraires.

Arrivée en contact avec la pièce de bois, l'énergie motrice du projectile, qui jusque-là n'a guère rencontré de sérieuse rivale, se trouve aux prises avec une force antagoniste, la force de résistance du bois. Supérieure en intensité aux premières résistances qui tendent à l'annuler, elle parvient sans doute à en triompher, mais en perdant, à chaque pas, de son énergie native, jusqu'à ce qu'enfin, complètement vaincue par les forces antagonistes, elle disparaît de la scène comme force de translation (317). Alors le projectile, privé de la cause de son mouvement ou de son énergie motrice, passe au repos.

Ainsi se comprennent aisément ces multiples relations qui lient l'effet mécanique au mouvement de la balle. Si ce mouvement est le premier résultat et la manifestation fidèle de l'énergie motrice communiquée, rien d'étonnant qu'il en suive toutes les phases. Il naît fatalement avec cette énergie, jouit d'une intensité qui lui est proportionnée, s'amoindrit avec elle, et disparaît enfin au terme de l'effet produit.

128. Nécessité d'une qualité motrice. — Pourquoi, me direz-vous, cette qualité motrice, ce facteur intermédiaire entre le mobile et son mouvement ?

La nécessité de cet agent se laisse aisément soupçonner dès que l'on fixe les regards sur la nature intime du mouvement local.

La balle en mouvement, avons-nous dit, donne naissance à un effet mécanique. Or le mouvement ne peut exercer aucune influence causale. Donc il faut qu'à côté de lui, se trouve dans le projectile

---

(317) L'énergie n'est cependant pas anéantie ; elle est alors remplacée par des phénomènes thermiques ou d'autres mouvements moléculaires.

un principe dynamique qui, à raison de sa stabilité et de sa destination, porte à juste titre le nom de « qualité motrice »

Pour mieux faire comprendre ces principes, appliquons-les à un exemple très simple.

Voici une bille de billard en repos sur un plan horizontal parfaitement uni. Par un coup sec bien appliqué, vous la mettez en mouvement et l'abandonnez ensuite à elle-même. Quel effet avez-vous produit ? Il importe peu à ce moment de le savoir. Mais il est certain que l'effet était complètement réalisé à cet instant où vous avez cessé d'agir sur le mobile. Sinon, en l'absence de toute influence extrinsèque, les phénomènes nouveaux qui continuent à se produire, seraient des effets sans cause, puisque, par hypothèse, l'activité de la bille ne relève que de vous.

Cela posé, admettons que le résultat de votre action sur le mobile soit le mouvement local pur et simple.

Sans doute, ce mouvement s'explique aussi longtemps qu'il coïncide avec votre influence réelle, et que le mobile est resté en contact soit avec votre main, soit avec la queue de billard dont vous vous êtes servi pour le mettre en mouvement. Mais, ce contact une fois brisé et votre action terminée, quelle est la cause du mouvement qui se perpétue, et qui même ne cesserait jamais s'il n'était constamment amoindri par les résistances extérieures ?

De deux choses, l'une : ou bien les nouvelles localisations que va recevoir le mobile ne sont rien, ne possèdent aucune réalité objective ; dans ce cas, il devient puéril d'attribuer au mouvement un pouvoir dynamique quelconque, et surtout d'en faire l'agent universel des phénomènes cosmiques. S'il faut le ranger parmi les illusions des sens, il est clair que son action est tout aussi illusoire.

Ou bien vous regardez les positions nouvelles acquises par la bille comme des phénomènes réels, mais à existence éphémère ; alors s'impose la supposition d'une qualité motrice inhérente au mobile. Ces phénomènes demandent en effet une cause stable, permanente, car ils peuvent se perpétuer à l'infini si l'on supprime toute résistance. De plus, cette force doit résider dans le mobile lui-même, si l'on veut qu'elle soit présente à ses effets constamment renouvelés, c'est-à-dire aux parties fugitives du mouvement.

Or, d'où vient cette énergie ? Elle fut évidemment communiquée à la bille au moment du choc ; c'est là l'effet immédiat de votre action, le mouvement n'en est que le résultat et la mesure partielle. A bon droit, nous l'avons donc appelée une qualité motrice essentiellement distincte du mouvement : en fait, elle échappe aux fluctuations incessantes qui caractérisent le déplacement local : elle dispose le corps à produire des effets mécaniques, et si son intensité

peut s'accroître ou s'amoindrir par des impulsions nouvelles favorables ou contraires, d'elle-même elle tend à se conserver dans son état natif. Ne sont-ce pas là autant de caractères qui la distinguent du mouvement et lui font une place à part dans la catégorie des réalités corporelles (318) ?

129. Nouvelles instances. — A cet argument nous n'entrevoyons que deux échappatoires possibles.

La première revient à dire que chacune des positions du mobile, consécutives à l'action du moteur extrinsèque, est elle-même cause de la position qui la suit immédiatement. De la sorte, le mouvement une fois inauguré porterait en lui-même la cause de son perpétuel devenir, et le recours à la force motrice serait inutile.

Cette hypothèse se heurte trop manifestement aux principes fondamentaux de la physique moderne, pour qu'on ait osé jusqu'ici la défendre. Autant vaudrait nier d'emblée la loi d'inertie. Dire que toute place occupée par un corps lui donne le pouvoir de s'en procurer une autre, c'est affirmer que la matière en repos peut, de sa propre initiative, se communiquer le mouvement.

En somme, les places successives que parcourt un mobile en action, ne sont pas d'une autre nature que la dernière position où le mobile vient jouir du repos. D'évidence, il n'existe entre elles aucune différence réelle. Si les premières font partie du mouvement, c'est uniquement parce qu'à chacune d'elles est annexé un devenir en voie de réalisation.

La seconde difficulté mérite plus d'attention. Supposer dans toute matière en mouvement l'existence d'une énergie motrice, n'est-ce pas introduire une force vitale au sein des êtres inor-

---

(318) A l'effet d'établir l'existence d'une distinction réelle entre l'énergie motrice et le mouvement, certains auteurs ont eu recours à un argument assez séduisant : « Il y a lieu de placer une distinction réelle entre deux choses dont l'une peut exister sans l'autre. Or, bien souvent les corps reçoivent une énergie motrice qui n'est suivie d'aucun mouvement ; tel, le cas où la masse est très grande et l'impulsion très faible. Donc... »

Que dire de cet argument ?

Il est, croyons-nous, sans valeur. Le principe de la conservation de l'énergie le condamne d'avance, et l'expérience quotidienne elle-même lui donne un solennel démenti. D'après ce principe incontestable, chaque fois qu'une force matérielle vient à disparaître, une autre énergie, en quantité équivalente, la remplace. Dans le cas mentionné, si la force motrice ne peut produire le mouvement de translation parce qu'elle rencontre une force supérieure de résistance qui l'annule, ou un obstacle fixe, nous sommes certain qu'il se produit dans le mobile une énergie calorifique équivalente à l'énergie motrice disparue.

Or, selon les mécanistes, cette nouvelle énergie n'est, comme toutes les autres, qu'un mode de mouvement. La qualité motrice ne se communique donc jamais sans donner naissance à du mouvement, qui peut être, d'après les cas, calorifique, moléculaire et invisible, de translation, etc.

Le fait de la séparabilité des deux phénomènes sur lequel repose la preuve, est par conséquent illusoire.

ganiques ? Cette qualité, dit-on, est interne, elle a son siège dans le mobile en action. D'autre part, le résultat de son activité ou le mouvement n'a lui-même d'autre support que le mobile. Cause et effet se trouvant dans le même sujet, que nous manque-t-il pour une action immanente ?

En y regardant de plus près, on s'aperçoit aisément que l'immanence de la *cause* n'est ici qu'apparente.

L'immanence vraie, qui caractérise l'action vitale, n'exige pas seulement que la cause et son effet résident dans un même être ; il faut en plus que cette cause ait sa racine dans le fond même de l'être, qu'elle découle de son essence. A cette condition seulement, elle constitue pour lui un moyen congénital et naturel d'action, et l'on peut dire que chaque fois qu'elle exerce son activité, c'est l'être lui-même qui agit ou *se* meut.

Or dans le cas présent, la qualité motrice, bien qu'inhérente au mobile, reste toujours en lui une qualité d'emprunt ; elle n'en reflète point la nature et ne puise pas dans ses entrailles l'énergie qu'elle-même possède.

Vrai substitut de la cause extrinsèque, cette énergie communiquée décide le mobile au mouvement, mais elle lui enlève l'initiative de l'activité dont il est le support obligé. En un mot, le corps est *mis* en mouvement ; il n'est point *cause* de son *propre mouvement* (319).

---

(319) Il ne sera peut-être pas inutile de rencontrer une troisième difficulté que nous trouvons formulée dans un des ouvrages du P. SECCHI, *L'unité des forces physiques*, p. 13. Dans notre discussion sur le pouvoir dynamique du mouvement, nous n'avons accordé aucun rôle à la masse. Or, dit le savant astronome, « la masse animée de vitesse est quelque chose de plus que le simple mouvement, c'est une force dans la large acception du mot.. » En négligeant ce facteur important, n'avons-nous pas omis l'élément complémentaire dont le mouvement a besoin pour jouir d'un véritable pouvoir dynamique ?

Nous ne prétendons nullement refuser à la masse toute influence sur la grandeur des effets mécaniques. Seulement, au point de vue où nous nous sommes placé, nous n'avions aucun motif d'en faire mention. La seule question soulevée était de savoir si le mouvement, quelle que fût d'ailleurs son intensité, constituait un réel principe d'action. Or, de l'aveu de tous les mécanistes, la masse est inerte, ou ne possède, d'elle-même, aucun pouvoir virtuel.

Dans l'évaluation du mouvement, elle intervient sans doute, mais au point de vue exclusivement quantitatif. Ainsi, si deux masses d'inégale grandeur sont animées d'une même vitesse, on attribue à la plus grande plus de mouvement et un pouvoir dynamique plus intense qu'à la plus petite, car le mouvement devant se disséminer sur toute la quantité de matière du corps, on comprend que, même dans le cas d'égale vitesse, la *quantité* de mouvement dépend de la quantité de masse qu'elle anime. Mais ce rôle purement *quantitatif* et *passif* de la masse est absolument étranger à notre étude actuelle, qui, répétons-le, vise uniquement la *nature* du mouvement.

§ 2

Deuxième principe mécanique : Le mouvement est transmissible d'un corps à l'autre

Ces termes « transmission » ou « transmissibilité du mouvement » se rencontrent presque à chaque page des ouvrages modernes de physique et de mécanique.

Lorsqu'un corps en mouvement vient à heurter un corps en repos, ou doué d'une vitesse inégale et de même sens, il se produit, au moins en apparence, soit un partage, soit un échange de mouvement. L'un gagne en vitesse ce que l'autre a perdu. Le mouvement étant là, nous trouvons très naturel de dire qu'il passe d'un corps à l'autre, qu'il continue sous une forme ou sous une autre. De là, l'expression communément reçue de « transmission du mouvement ».

Ici de nouveau les apparences sont trompeuses.

130. Première réfutation. — Selon la théorie la plus réaliste, et partant la plus favorable aux vues mécanistes, le mouvement est une de ces réalités mobiles et fugitives qui ne peuvent naître, ni jouir de leur existence éphémère en dehors d'un substrat matériel. Concrétisé et individualisé par ce sujet d'inhérence dont il dépend intrinsèquement, il doit lui rester attaché sous peine de disparaître du monde réel, car ces conditions sont indispensables à son existence d'emprunt. C'est aussi le sort de toute modalité accidentelle, comme l'étendue, la couleur, etc. Il existe donc une impossibilité physique à ce que le mouvement émigre d'une substance dans une autre (320).

---

(320) Nous ne résistons pas au désir de citer ici l'analyse vraiment remarquable que M. Meyerson a faite récemment de cette prétendue communication du mouvement : « Le corps moteur, dit-il, était lui-même en mouvement, il n'a fait que *communiquer* ce mouvement à un autre corps ; il semble donc que l'identité ait été maintenue, et que quelque chose, le mouvement, se soit simplement déplacé, passant du premier corps au second... Mais à mesure que nous approfondissons ce concept, nous le voyons se dérober à notre imagination. Il ne saurait y avoir de mouvement sans substrat matériel, sans quelque chose qui se meut. Le mouvement n'a rien d'une substance, et c'est tout au plus si nous pouvons le considérer comme un *état*.

» A supposer que nous acceptions ce dernier concept, que nous considérions que cet état doive durer indéfiniment, ainsi que l'exige le principe d'inertie, comment pourrait-il se détacher d'un corps pour s'attacher à un autre ? Il faudrait, comme l'a très justement remarqué Lotze *), qu'entre les deux, cet état existât un moment (infiniment court si l'on veut) en soi, comme une véritable substance, ce qui est absurde.

» En réalité, il est tout à fait impossible de se figurer la transmission du mouvement d'atome à atome sans faire intervenir une faculté spéciale, un agent mystérieux. » MEYERSON, *Identité et réalité*, p. 332. Paris, Alcan, 1912.

*) LOTZE, *Grundzüge der Naturphilosophie*, 2e éd., p. 17, Leipzig, 1889.

La théorie mécanique deviendrait sans doute plus concevable, si, faisant litière des faits et remettant en honneur l'ancienne hypothèse de l'émission, elle prétendait substantialiser le mouvement local. Alors, les voltiges et la transmission de ce petit être *sui generis* se comprendraient plus aisément. A pareilles rêveries nul n'oserait s'arrêter un instant.

131. Deuxième réfutation. — Au surplus, l'analyse des faits nous fera toucher du doigt l'impossibilité d'une pareille transmission.

La rencontre de deux corps élastiques, de même masse, dont l'un est en repos, l'autre en mouvement, peut avoir pour résultat l'arrêt du moteur et la mise en mouvement du mobile. Que se passe-t-il dans ce phénomène ?

Au moment où s'arrête le moteur, le mouvement dont il était animé arrive à son terme et lui donne la position tranquille qu'il occupe. Quelle est l'origine du mouvement engendré dans le mobile ?

Provient-il de la série de positions déjà parcourues par le moteur ?

Il est évident qu'au moment de la rencontre, il ne reste plus rien de ces réalités éphémères. Délaissées une à une au cours du trajet, elles se sont évanouies sans laisser de trace de leur existence momentanée.

Consiste-t-il peut-être dans les localisations ultérieures que le moteur aurait reçues si aucun obstacle n'était venu entraver sa marche ?

Pas davantage. Au moment du choc, elles se trouvaient encore dans le domaine des purs possibles.

Que reste-t-il ? La position actuelle du moteur ? Impossible qu'il s'en dessaisisse, sinon, il disparaîtrait lui-même de la scène, puisqu'il n'aurait plus de place dans l'espace.

Dans quels secrets replis de l'être réside donc cette partie du mouvement que l'on suppose transmise du moteur au mobile ?

132. Instance. — Cependant, dira-t-on, ce phénomène n'en demeure pas moins étrange. Un choc se produit. Des deux corps en conflit, l'un passe au repos, l'autre gagne en mouvement ce qu'a perdu le premier. S'il n'y a pas de transmission, quelle est la cause de ce double résultat ?

La théorie des qualités motrices nous donne seule la clef de cet apparent mystère.

Au moment de la rencontre, la force mécanique du moteur se déploie sur le mobile en contact, et produit en lui une impulsion, c'est-à-dire une énergie motrice qui en détermine aussitôt la mise en mouvement. Mais toute action provoque une réaction égale et contraire. Le mobile à son tour réagit sur le moteur par

sa force de résistance, et du balancement de ces énergies antagonistes et de même intensité résulte fatalement l'arrêt subit du moteur.

Le phénomène se ramène ainsi à un simple jeu de causes efficientes régi par la loi mécanique de l'égalité de l'action et de la réaction (321).

§ 3

Troisième principe mécanique : Le mouvement local peut se transformer en chaleur, électricité, lumière, magnétisme, etc.

133. Portée de cet adage. Phénomènes qui semblent le légitimer. — La réduction de tous les phénomènes matériels à un minmum de causes fut toujours la tendance caractéristique du mécanisme. C'est sous l'influence de cette préoccupation scientifique que furent proclamées d'abord l'homogénéité et l'unité de la matière. Quant aux forces corporelles, l'unification ne pouvait guère se faire qu'en les identifiant toutes avec le mouvement local. Mais cette nouvelle unité synthétique se conciliait très peu avec la diversité manifeste des phénomènes. On dota donc le mouvement de formes variées, de modes multiples ; et pour lui

---

(321) Le cas dont il est ici question, suppose l'égalité des masses et le *choc central*. L'effet produit serait différent si les corps étaient doués de masses d'inégale grandeur, mais les principes explicatifs s'y appliqueraient avec la même rigueur.

Nous n'avons mentionné que le résultat global de l'échange des activités. En fait, le phénomène comprend deux phases distinctes. Dès que les deux corps se trouvent en contact, ils appuient l'un sur l'autre, se déforment, et cette déformation continue jusqu'au moment où ils sont animés d'une même vitesse. A cet instant, qui coïncide avec le maximum de déformation, le mobile, en vertu de l'impulsion reçue, possède la moitié de la vitesse dont le moteur était animé, tandis que le moteur a perdu, sous l'influence de la réaction, la moitié de la sienne. Telle est la première phase du choc.

Mais cet état de vitesse commune est de très courte durée.

Les deux corps élastiques déformés tendent en effet à reprendre leur volume primitif. Par la mise en œuvre de leurs forces d'élasticité, ils exercent l'un sur l'autre deux actions identiques à celles qui se sont produites pendant la période de déformation, en sorte que la vitesse du mobile se trouve doublée, et celle du moteur réduite à zéro.

En somme, le mouvement engendré résulte de deux impulsions successives, comme le passage au repos du moteur a pour cause deux résistances d'égale intensité.

Si les corps étaient inélastiques, le phénomène du choc ne comprendrait que la première phase décrite, et les deux corps aplatis continueraient à se mouvoir avec une vitesse égale à la moitié de la vitesse primitive du moteur.

Cfr. DRESSEL, *Lehrbuch der Physik. Die Stosswirkungen*, p. 110. Freiburg, 1895. — RITTER, *Lehrbuch der technischen Mechanik. Theorie des Stosses*, p. 616. Leipzig, 1896.

conserver sous ses allures si diverses son unité fondamentale, on en fit une sorte de caméléon capable de se transformer, au cours des événements, en autant de modalités qu'en réclamaient les exigences des faits.

Pour qui se borne à un examen superficiel des phénomènes, cette transformabilité du mouvement en lumière, chaleur, électricité, etc., semble expliquer assez fidèlement le lien de succession et de corrélation qui rattache entre elles ces différentes forces de la nature.

Une balle lancée violemment contre une muraille s'y aplatit, et perd son mouvement de translation ; mais l'expérience nous prouve que la muraille et la balle se sont échauffées. Le mouvement, dit-on, s'est transformé en chaleur.

A son tour, la chaleur semble se convertir en électricité. Chauffez un fragment de tourmaline ; aussitôt se formeront aux extrémités deux pôles bien distincts, l'un positif, l'autre négatif.

Un rayon de lumière tombe sur la rétine de l'œil ; il s'y éteint, mais donne naissance à un petit courant électrique qui parcourt les profondeurs de l'organe visuel.

Etudiez les autres phénomènes et vous verrez que tous, sans exception, se substituent les uns aux autres en quantité équivalente.

N'y a-t-il pas là un indice manifeste, qu'en somme, toutes les formes de l'énergie ne sont que du mouvement local transformé ?

134. Conditions d'une transformation. — Avant de juger de la possibilité du fait, déterminons les conditions essentielles que doit réaliser une transformation quelconque.

Pour qu'une chose se convertisse en une autre, il faut qu'elle se dépouille de certaines manières d'être qui caractérisent son état actuel ; autrement, elle resterait identique à elle-même, et il n'y aurait point de place pour une vraie transformation. En second lieu, il est cependant nécessaire qu'une partie de la chose transformée se retrouve dans le résultat final de la transformation. A défaut de cette condition, un être nouveau, produit du néant, ferait place à l'ancien être totalement disparu. Mais une annihilation suivie d'une création ne nous présente évidemment pas la métamorphose naturelle d'un être.

135. Aucun mouvement local n'est transformable. — Ces principes établis, appliquons-les au mouvement local.

Comme l'être intégral du mouvement réside dans cette série ininterrompue de réalités accidentelles qui, à chaque instant, localisent le corps dans un lieu nouveau, elles seules aussi peuvent devenir le sujet d'une transformation.

Or le changement dont elles sont susceptibles, porte, ou sur

la vitesse avec laquelle elles se succèdent dans le corps en mouvement, ou sur la direction que suit le mobile en les recevant.

Soit d'abord le *changement de vitesse.*

Voici un corps animé d'une vitesse de deux mètres à la seconde. Il reçoit une impulsion violente qui lui fait parcourir pendant le même temps un espace dix fois plus considérable. Quel lien établir entre ces deux mouvements consécutifs ? A la série continue de positions occupées par le mobile et entièrement disparues au moment de l'impulsion, succède une série nouvelle de localisations fugitives, dont le flux est dix fois plus rapide. Eh bien ! dans cette seconde phase du phénomène, retrouverez-vous des traces ou un résidu quelconque de la première ? Evidemment non. Le mouvement nouveau et celui qui l'a précédé constituent deux phénomènes distincts, totalement étrangers l'un à l'autre, reliés entre eux par un simple lien de succession.

Ainsi en est-il du *changement de direction.*

A la suite d'une impulsion nouvelle, tel corps se trouve lancé dans une direction oblique relativement à sa direction antérieure. Entre ces deux mouvements de direction diverse, aucun lien de parenté. Il suffit de suivre le mobile pendant son double trajet pour s'apercevoir, qu'à la dernière place qu'il occupait dans la première voie, il s'est fait une substitution de places entièrement nouvelles propres à la seconde. Dans cette suite de localisations consécutives à l'impulsion, nul ne saurait découvrir le moindre vestige du mouvement qui l'a précédée.

Quels qu'en soient la nature et le mode, dans aucun cas, un mouvement ne peut donc se convertir en un autre, parce qu'aucun élément constitutif d'un mouvement ne peut se retrouver dans celui qui le remplace.

Bien plus, semblable métamorphose constituerait une dérogation réelle aux lois de la nature.

Si le mouvement actuel d'un corps portait dans son sein un résidu quelconque d'un mouvement antérieur, le même corps occuperait simultanément plusieurs endroits de l'espace, car le mouvement est inséparable de son substrat matériel, et chacune de ses parties a sa place spatiale déterminée.

La succession des phénomènes que nous venons d'analyser, éveille, il est vrai, l'idée d'un changement, ou mieux d'une certaine transformation. Le grand tort du mécanisme fut de la placer dans le mouvement lui-même plutôt que dans sa cause réelle, l'énergie motrice.

Ainsi, dans le dernier fait mentionné, l'impulsion oblique et celle dont le mobile était déjà doué ont dû se combiner, conformément au théorème du parallélogramme des forces, pour imprimer au corps une direction nouvelle. Or, il est clair que la

fusion de ces énergies n'a pu se produire sans une certaine altération de l'énergie primitive.

Dans le premier cas, la force motrice du mobile s'est vue renforcée d'une partie de l'énergie du moteur, et le mouvement qui en est l'effet devint plus rapide (322).

§ 4

Causes générales de l'échec du mécanisme

Nous avons soumis le mécanisme à l'épreuve des faits qu'il s'était donné la mission d'expliquer.

Sur le terrain de la chimie, de la physique et de la cristallographie, aussi bien que dans le domaine de la métaphysique, des difficultés nombreuses, insolubles, souvent même des oppositions manifestes avec les données de l'expérience nous ont révélé l'insuffisance et le caractère antiscientifique de ce système. Que d'efforts cependant ses partisans n'ont-ils pas tentés, quel luxe d'hypothèses inventées en vue d'en prévenir l'échec définitif ?

A quoi tient cet insuccès ?

136. Première cause. — Afin de soumettre les phénomènes corporels aux lois de la mécanique qui est l'étude du mouvement local, le mécanisme s'est borné à analyser le changement de lieu des figures qui délimitent les diverses parties de la matière. C'était d'ailleurs le thème que lui traçait Helmholtz, lorsqu'il disait : « Il n'y a de changements possibles dans la nature que la distribution et l'arrangement divers des éléments dans l'espace, ce qui revient à un mouvement ».

Toujours en contact avec son élément favori qu'elle retrouvait d'ailleurs dans tous les phénomènes du monde corporel, frappée de la loi de corrélation et d'équivalence qui préside à la succession des multiples mouvements dont s'accompagnent la chaleur, l'électricité, la lumière, le magnétisme, la théorie mécanique en vint à douer le mouvement lui-même d'un *pouvoir dynamique,* à placer en lui la cause de ses prétendues métamorphoses.

Plus tard, pour éviter jusqu'aux apparences d'une causalité occulte, elle lui supposa même l'étrange aptitude à se transmettre

---

(322) Après avoir constaté l'impuissance de la théorie mécanique à justifier le rythme harmonieux d'après lequel se succèdent, dans un même corps, les phénomènes d'impulsion mécanique, de chaleur, de lumière, d'électricité, etc., il ne serait pas sans intérêt d'aborder le côté positif de cette loi de corrélation et d'en indiquer le véritable fondement. Nous préférons réserver cette question pour le second volume de notre travail, où nous traiterons *ex professo* de la nature des forces corporelles. C'est pourquoi nous avons donné à cette étude un caractère plutôt critique qu'explicatif.

d'un corps à l'autre. De là, la célèbre théorie des chocs. « Le choc, dit M. Hannequin, est pour le mécanisme moderne, la seule forme possible de l'échange de mouvement » (323).

Le terme « force » se trouvait ainsi rayé du langage scientifique, et la transmissibilité du mouvement devenait la forme obligée de toute causalité.

Cette double hypothèse, qui exagérait à la fois l'être intime de cet élément mécanique et en faussait le rôle, devait se heurter non seulement aux principes de la métaphysique, mais à ce vaste ensemble de faits où, d'évidence, le phénomène nouveau ne peut tirer son origine d'un mouvement antérieur (324).

137. Seconde cause. — Le second défaut du système fut de réduire toutes les propriétés de la matière aux modalités du mouvement local.

« Les autres propriétés des corps, écrit M. Duhem, état solide ou fluide, état de combinaison et de décomposition chimique, d'éclairement, d'électrisation, d'aimantation, n'apparaissent pas à nos sens comme des agrégats d'éléments géométriques... Elles ne peuvent donc donner prise au calcul qu'à une condition : celle de pénétrer plus avant dans la connaissance des corps que nos sens ne nous y autorisent, et cela par la voie téméraire de l'hypothèse : celle de supposer, sous les propriétés non géométriques que nos perceptions nous révèlent, des combinaisons de figures et de mouvements qui seraient l'essence de ces propriétés... Pendant un siècle, ce principe a guidé les efforts des physiciens-géomètres ; ces efforts... ont fini cependant par se heurter à des difficultés que beaucoup regardent comme insolubles » (325).

De fait, quoique toutes les activités corporelles s'accompagnent de mouvement local et se prêtent de ce chef à la constitution d'une physique mathématique, il est incontestable qu'elles présentent aussi un aspect qualitatif et différentiel que nous ne retrouvons point dans les modalités du mouvement ; cette face du phénomène échappe forcément à toute mesure directe (326).

Pour avoir méconnu cette vérité, le mécanisme ne sut jamais

---

(323) HANNEQUIN, *Essai critique sur l'hypothèse des atomes,* pp. 127 et suiv. Paris, Alcan, 1899.

(324) Voir plus haut : l'affinité chimique, la théorie cinétique des gaz, la pesanteur, le principe de la conservation de l'énergie, l'analyse métaphysique du mouvement, etc.

(325) DUHEM, *Sur quelques extensions récentes de la statistique et de la dynamique (Revue des Questions scientifiques,* tome 50, avril 1901).

(326) WUNDT a développé la même pensée dans son ouvrage : *Système de philosophie,* 2e éd., 1897. M. HÖFFDING en donne le résumé suivant dans ses *Philosophes contemporains,* p. 23. Paris, Alcan, 1908. Bien que la physique ramène tous les changements à des changements de situation et de mouvement, elle ne nie pas cependant, d'après WUNDT, que les choses du monde aient des propriétés internes non exprimées par leurs relations extérieures ; mais elle n'a pas à les étudier. » A lire une intéressante étude

nous donner qu'une explication incomplète des propriétés physiques de la matière (327).

C'est la constatation que se plaît à relever un célèbre physicien, dans un récent article sur les destinées de la physique :

« Au lieu de s'acharner contre ces obstacles peut-être insurmontables, qui barraient la voie jusqu'alors, bon nombre de physiciens sont revenus en arrière pour chercher quelque route plus large et plus sûre. Ils ont entrepris d'examiner à nouveau les fondements des théories physiques, de déterminer quelles sont les conditions nécssaires pour qu'une telle théorie puisse être traduite en langage mathématque. Ils ont reconnu qu'il n'était nullement nécessaire pour cela que les propriétés physiques fussent remplacées par des assemblages de forme et de mouvement ; que les *états* et les *qualités* pouvaient être, non pas expliqués, mais symbolisés par des nombres et des figures ; enfin que ces nombres et ces figures permettaient la constitution d'une science dont l'antique mécanique rationnelle n'était plus que le premier chapitre, et le plus simple, d'une science embrassant dans ses lois, non seulement le mouvement local, mais toute espèce de changement d'état et de qualité » (328).

La doctrine de la convertibilité du mouvement en lumière, chaleur, électricité et magnétisme fut aussi la conséquence fatale de cette réduction excessive (329).

138. Troisième cause. — Enfin l'échec du mocanisme tient à une troisième cause, qui est peut-être, de toutes, la plus importante : le rejet de tout point de vue finaliste dans l'explication scientifique.

Lorsqu'il s'agit d'un fait individuel, par exemple, d'une combinaison chimique, la nécessité des causes finales ne se manifeste pas d'emblée avec toutes les clartés de l'évidence. Les forces mécaniques et physiques des générateurs dont on y saisit directement le jeu, semblent suffire à la production du composé. Il n'en est plus ainsi dès qu'on arrête la pensée sur l'ordre cosmique.

La récurrence invariable des mêmes espèces, si bien décrites par la chimie, la physique et la cristallographie, le lien indissoluble qui rattache tel faisceau de propriétés à telle espèce naturelle, les lois immuables qui président à la combinaison et à la décomposition des corps, le déploiement toujours identique des affinités chimiques malgré la variation incessante des circonstances, enfin cet harmonieux enchaînement de causes innombrables concourant

---

sur les rapports d'opposition entre la quantité et la qualité, par M. BERGSON, *L'évolution créatrice*, pp. 325-370. Paris, Alcan, 1908.

(327) Voir plus haut l'étude des faits de l'ordre physique et cristallographique

(328) DUHEM, *art. cité*, p. 131.

(329) Cfr. Voir plus haut, pp. 171 et suiv., n°s 133-135.

à point nommé à la réalisation des effets indispensables au maintien de l'ordre (330), tous ces faits généraux réclament, d'évidence une cause appropriée, qu'on rechercherait en vain parmi les causes immédiates des phénomènes.

Mais ces mêmes faits nous montrent aussi, que cet élément nouveau, ce principe stable et permanent d'orientation ne peut résider que dans le fonds intime des êtres, dans leur nature spécifique ; le thomisme l'appelle : le principe substantiel de finalité immanente. Le mécanisme l'a rejeté en y substituant son dogme de l'*homogénéité de la matière.*

Est-il étonnant que si souvent, au cours de l'examen scientifique de ce système, les métamorphoses ordonnées de la matière et le jeu régulier de ses activités se soient montrés incompatibles avec les caprices du mouvement local ? (331).

---

(330) « Le monde minéral, écrit DE LAPPARENT, nous donne de grands et salutaires enseignements en nous montrant partout à l'œuvre ce principe essentiellement sage de la moindre action, ainsi que la recherche obstinée de l'ordre et de la symétrie » *(Revue des Questions scientifiques,* p. 68, décembre 1900).

(331) Cfr. plus haut la récurrence des espèces au point de vue chimique, physique, cristallographique.

LIVRE II

LE NEO-MECANISME

ARTICLE PREMIER

Exposé de ce système

139. Idées essentielles de ce système. — 1° A l'encontre du mécanisme traditionnel, le néo-mécanisme s'interdit toute recherche, soit sur la nature intime de la substance, soit sur la constitution essentielle des phénomènes. Il regarde ces deux problèmes comme étrangers à la science physique et les abandonne aux discussions ds métaphysiciens.

2° Pour ce système, le seul objet d'étude est donc le phénomène, mais le phénomène considéré sous un aspect spécial, c'est-à-dire, non tel qu'il est en lui-même, mais tel qu'il nous apparaît dans la perception sensible : « Je ne cesse pas d'oublier, écrit M. Perrin, que la sensation est la seule réalité. C'est la seule réalité, à la condition d'adjoindre aux sensations actuelles toutes les sensations *possibles* » (332). « On peut supposer des microbes sans les voir jusqu'au jour où un réactif les révèle, dit M. Rey. Pourquoi n'aurait-on pas le droit de supposer une structure de la matière, qu'un jour l'expérience pourra déceler ? » (333) Le néo-mécanisme restreint donc le champ de ses investigations aux seules données expérimentales fournies par les sens, en comprenant dans ce champ, tout ce que les sens perçoivent actuellement et tout ce qu'ils pourront percevoir à l'avenir, à la suite de nouvelles méthodes de travail, ou à la lumière de nouvelles découvertes.

Il est clair cependant que le phénomène ainsi perçu par la sensation doit être considéré, non dans sa réalité individuelle, mais dans ses caractères constants et généraux.

Sous sa forme nouvelle, le mécanisme est donc *phénoméniste.* C'est là, d'ailleurs, le caractère général de la physique actuelle.

En second lieu, le phénomène, pour devenir objet de la science, doit se présenter sous un aspect *relatif.* Ce n'est pas en effet sa réalité constitutive, absolue qu'on cherche à dévoiler, ce sont

---

(332) PERRIN, *Traité de chimie générale. Les principes,* p. IX, Paris, Gauthier-Villars, 1903. — *Les atomes,* p. IV. Paris, Alcan, 1914.

(333) REY, *La philosophie moderne,* p. 147. Paris, Flammarion, 1911.

ses relations, que l'on tâche de décrire. « Les rapports véritables entre ces objets réels sont, dit Poincaré, la seule réalité que nous puissions atteindre » (334). Connaître un phénomène, c'est en connaître la mesure, les conditions de son apparition, de ses variations, de sa disparition, le lien qui le rattache à ses antécédents et à ses conséquents.

De plus, la connaissance exprimée par un ensemble de relations, présente encore un caractère relatif en ce sens qu'elle est valable relativement aux expériences actuelles, sans cesser d'être revisable par des expériences nouvelles (335).

3° Le néo-mécanisme s'interdit aussi la recherche des causes, entendues au sens métaphysique du mot. Il se contente d'exprimer l'ordre de succession ou de concomitance que nous offre l'expérience phénoménale, les relations nécessaires qui enchaînent entre elles les données sensibles, afin de nous faire connaître les phénomènes et d'en prévoir de nouveaux. En d'autres termes, il établit une liaison réelle ou possible entre des perceptions réelles ou possibles, sans y faire intervenir jamais, comme élément explicatif, l'idée de cause ou de pouvoir producteur, de cause efficiente. Les hypothèses mécanistes, inventées pour rendre compte de ces liaisons, ne sont que des fictions (336).

4° La tendance caractéristique du système est d'expliquer tous les phénomènes en les réduisant au mouvement local et aux lois qui le régissent.

Le néo-mécanisme n'affirme pas, qu'à l'heure présente ce travail d'homogénéisation soit achevé ; il n'affirme même pas qu'il le sera un jour. Il croit simplement que pareille explication suffit aux besoins actuels, et il espère qu'il en sera toujours ainsi dans l'avenir. « Le néo-mécanisme emploie donc des éléments figurés empruntés à la représentation du mouvement, qui est l'intuition quantitative du changement, et se relie ainsi à la mécanique, qui a pour objet essentiel le mouvement ». « En partant du mouvement et des notions qu'il suggère, en les compliquant convenablement, on doit arriver, dit M. Rey, à représenter l'objet de la physique dans sa totalité. Continuité des phénomènes physiques et des phénomènes mécaniques, et par suite, entière représentabilité des phénomènes physiques à l'aide du mouvement, cinétisme

---

(334) H. Poincaré, *La science et l'hypothèse*, p. 190. Paris, Flammarion. — *La valeur de la science*, p. 266. « Quand nous demandons, dit-il, quelle est la valeur objective de la science, cela ne veut pas dire : la science nous fait-elle connaître la véritable nature des choses ? Mais cela veut dire : nous fait-elle connaître les véritables rapports des choses ? »

(335) Delbet, *La science et la réalité*, p. 277. Paris, Flammarion, 1913.

(336) Henriquez, *Les concepts fondamentaux de la science*, p. 114. Paris, Alcan, 1913.

dans toute l'ampleur étymologique du mot, voilà les caractères... de l'esprit de la presque totalité des physiciens et des chimistes contemporains » (337).

5° Le système mécanique nouveau ne regarde comme certaines que les données de l'expérience ; celle-ci, et elle seule, doit nous fournir toutes les connaissances que nous pouvons posséder sur les phénomènes physico-chimiques. Aussi le système professe-t-il à l'égard de l'expérience une subordination complète, même dans ses parties les plus conjecturales. Une systématisation n'est valable que si elle est le résultat de l'expérience, si elle provient des rapports manifestés par l'expérience. Elle reste hypothétique si les rapports sont simplement conjecturés, non encore vérifiés expérimentalement.

Ajoutons enfin, qu'à l'heure présente, le néo-mécanisme tend à prendre la forme que l'on désigne sous le nom de *théorie électronique*. L'atome matériel devient, pour lui un système d'électrons ou de charges positives et négatives ; les forces moléculaires ou atomiques, les différentes modalités de l'énergie, telles la lumière, la chaleur, l'électricité, sont toutes considérées comme les manifestations du mouvement des électrons.

En résumé, le néo-mécanisme se présente généralement comme une interprétation mécanique de la théorie électronique (338).

140. Différences entre le néo-mécanisme et le mécanisme traditionnel. — 1° Le mécanisme traditionnel était un système métaphysique et physique à la fois. Il se prononçait avec autant d'assurance, sur la nature intime de la substance et des propriétés, que sur les lois expérimentales qui règlent les évolutions de la matière.

Le néo-mécanisme ignore la substance et tout ce qui ne peut être objet d'expérience. « Il exclut toute tendance métaphysique et ontologique qui prétendrait dépasser les apparences sensibles » (339).

2° Le mécanisme ancien accordait une valeur réelle, ontologique aux théories physiques, aux hypothèses, aux mécanismes par lesquels il se représentait la nature.

---

337) Rey, *La théorie de la physique chez les physiciens contemporains*, pp. 225 et surtout 258. Paris, Alcan, 1907.

(338) Pour rester d'accord avec la théorie physique nouvelle, le néo-mécanisme a dû compléter les principes de la mécanique classique par ceux de l'électro-magnétisme : « Conséquence remarquable, dit M. Rey ; la notion de la conservation de la masse (ou la quantité de matière) qui, avec l'inertie, était à la base de la mécanique, ne semble plus pouvoir être conservée dans la mécanique électro-magnétique. » *La physique moderne*, p. 161. Paris, Flammarion, 1911.

(339) Rey, *La théorie de la physique chez les physiciens contemporains*, p. 44. Paris, Alcan, 1907. — *La philosophie moderne*, p. 171. Paris, Flammarion, 1911.

Le néo-mécanisme distingue la physique expérimentale de la théorie. Il ajoute foi aux résultats de la première : les faits, les rapports et les lois manifestés par l'expérience sont autant d'acquits à la science. Mais la théorie et les hypothèses n'ont point, pour lui, pareil crédit. Il faut sans doute qu'elles soient suggérées par l'expérience, en accord avec elle, mais elles peuvent avoir un caractère provisoire, n'être même que des moyens de recherche, destinés à disparaître le jour où elles viendront se heurter aux données expérimentales. L'hypothèse provisoire a même une large place dans le système nouveau.

3° Le mécanisme traditionnel prétendait nous faire connaître l'ordre de causalité réelle qui relie les phénomènes entre eux ; il regardait la cause, la force, comme une entité réelle, plus ou moins mystérieuse, nécessaire pour l'explication des faits. La théorie nouvelle se contente de décrire l'ordre de succession ou de concomitance que nous révèle l'expérience phénoménale. Elle ne voit partout, dans le domaine de la causalité, que des liaisons rattachant les unes aux autres les sensations objectivement considérées.

4° Le mécanisme, sous sa forme ancienne, considérait les principes de la mécanique sur lesquels il s'appuyait comme des vérités intangibles, irréformables ; le principe de l'égalité d'action et de réaction, l'invariabilité de la masse, etc... n'étaient plus, croyait-il, susceptibles de retouches. La systématisation des phénomènes lui paraissait aussi définitive, et la nature entière devait si bien se plier à ses exigences et s'adapter à ses cadres, qu'il eût été possible de la refaire avec les éléments connus.

Le mécanisme rajeuni, au contraire, professe qu'il est impossible de construire actuellement une théorie physique définitive; beaucoup de travaux actuels ne peuvent être que des travaux d'approche, à cause des nombreuses inconnues dont l'existence se laisse aisément soupçonner. La science, en un mot, évolue rapidement, et les découvertes qui se font chaque jour commandent, à ce sujet, une grande réserve (340).

141. Qu'y a-t-il de commun entre les deux systèmes ? — L'un et l'autre peuvent se définir : « la théorie qui considère les phénomènes comme adéquatement représentables par des mouvements, par des mécanismes ». C'est pourquoi l'on a dit avec raison : « Pour être mécaniste, il faut et il suffit que le point de départ soit pris dans des mouvements réels et que le terme d'arrivée soit aussi dans le mouvement » (341). Pour les deux systèmes, les sciences physico-chimiques doivent être continues avec la méca-

(340) P. DELBET, *La science et la réalité*, p. 333. Paris, Flammarion, 1913.

(341) REY, *La théorie de la physique*, p. 291. Paris, Alcan, 1907.

nique et se fonder sur la représentation du mouvement qui est l'objet de la mécanique.

Sauf les différences que nous avons signalées plus haut, les deux théories nous offrent donc la même conception unitaire du monde phénoménal, la même réduction de tous les phénomènes au mouvement local, la substitution complète du quantitatif au qualitatif.

Au point de vue philosophique, tel est le caractère fondamental commun aux deux formes du mécanisme.

142. Origine de ce système. — Cette défiance du néo-mécanisme à l'égard de toute donnée métaphysique, ou plutôt cette exclusion du domaine de la physique de toute réalité qui ne soit pas purement expérimentale, est, sans aucun doute, le résultat de certaines doctrines philosophiques sur la valeur de l'intelligence humaine. La philosophie kantienne qui soustrait le noumène ou la substance aux prises de l'entendrement, le positivisme qui déclare inconnaissable tout ce qui dépasse l'expérience sensible, le pragmatisme pour qui la métaphysique elle-même n'est que la science de la synthèse finale de toutes les données de notre expérience (342), toutes ces doctrines se sont infiltrées plus ou moins lentement dans les sciences physiques et y ont déterminé ce phénoménalisme et ce relativisme qui les caractérisent actuellement.

« Tous les savants, à l'heure actuelle, se méfient de la métaphysique, dit Delbet, et comme la métaphysique vit d'abstraction, quelques-uns sont conduits à se défier de toutes les abstractions » (343).

Une autre cause, signalée par M. Rey, est la conquête du domaine de la physique par les mathématiques (344) « La physique mathématique, écrit M. Cassirer, se détourne de l'essence des choses et de leur intérieur substantiel, pour se tourner vers leur ordre et leur liaison numériques, ainsi que vers leur structure fonctionnelle et mathématique » (345).

Le véritable bouleversement qu'ont subi la plupart des principes de la mécanique classique devait aussi, de son côté, provoquer une puissante réaction contre le dogmatisme de l'ancien mécanisme et diminuer la confiance absolue qu'on lui accordait.

Par contre, plusieurs causes importantes tendaient à accréditer la conception unitaire du monde matériel, fondée sur le mouvement local. Citons entre autres : le succès toujours croissant de

---

(342) SCHILLER, *Etudes sur l'humanisme*, p. 22. Paris, Alcan, 1909.

(343) P. DELBET, *La science et la réalité*, p. 275. Paris, Flammarion, 1913.

(344) REY, *La théorie de la physique*, pp. 228 et suiv. Paris, Alcan, 1907.

(345) E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neuern Zeit*, vol. II, p. 530. Berlin, 1906-1907.

la théorie électronique, qui est d'inspiration mécanique ; la fécondité de la théorie cinétique dans l'interprétation d'un très grand nombre de phénomènes physico-chimiques, et notamment du mouvement brownien ; enfin, la tendance à l'unité si naturelle aux sciences physiques.

C'est du balancement de ces influences diverses qu'est née, croyons-nous, la théorie nouvelle.

143. Partisans de ce système. — A en croire M. Rey, le néo-mécanisme serait la théorie préférée de la généralité des physiciens et des chimistes modernes.

Pareille généralisation nous paraît exagérée. Certes, les énergétistes, tels Duhem, Mach, Ostwald, en sont les adversaires déclarés. Ostwald, il est vrai, s'est réconcilié avec l'atomisme après que les expériences de Perrin eurent révélé des relations insoupçonnées, entre les conceptions moléculaires et le mouvement brownien. Mais il ne cessa cependant de combattre le néo-mécanisme.

D'autres, tels Poincaré et son école, n'utilisent les éléments figurés du néo-mécanisme qu'à titre secondaire.

Nombreux sont aussi les physiciens qui emploient concurremment la théorie mécanique et la théorie énergétique. Ils partent des équations générales de la mécanique, ou des équations générales de la thermodynamique, selon que le procédé ainsi employé paraît plus simple ou plus fécond. Tel est également le cas pour les chimistes van t' Hoff, van der Waals et Nernst.

« Un grand nombre de chercheurs, écrit L. Poincaré, se montrent d'ailleurs, pour leur propre compte, parfaitement éclectiques ; ils adoptent, suivant leurs besoins, telle ou telle manière d'envisager la nature, et ils n'hésitent pas à utiliser des images très diverses lorsqu'elles leur paraissent utiles et commodes » (346).

On ne peut nier cependant que la théorie nouvelle est la théorie actuellement dominante dans les sciences physico-chimiques.

Citons parmi ses principaux représentants : Perrin (347), Langevin (348), Bouty (349), Hertz (350), Kirchhoff (351), Helm-

---

(346) L. Poincaré, *La physique moderne, son évolution*, p. 20. Paris, Flammarion, 1909.

(347) Perrin, *Traité de chimie physique. Les principes.* Paris, Gauthier-Villars, 1903. — *Les atomes.* Paris, Alcan, 1914. — *Les preuves de la réalité moléculaire (Les idées modernes sur la constitution de la matière).* Paris, Alcan, 1913.

(348) Langevin, *La dynamique électromagnétique (Les idées modernes).* Paris, Alcan, 1913. — *Les grains d'électricité (Les idées modernes).* Paris, Alcan, 1913. — *L'évolution de l'espace et du temps (Revue de Métaphysique et de Morale,* juillet, 1911). — *La théorie du rayonnement et les quanta.* Paris, Gauthier-Villars, 1912, etc.

(349) Bouty, *La vérité scientifique.* Paris, Flammarion, 1908.

(350) Hertz, *Gesammelte Werke,* vol. I. Leipzig, 1895. — Dans ses *Principes de mécanique,* l'auteur cherche à ramener toutes les forces matérielles à l'inertie des masses en mouvement.

holtz (352), Maxwell (353), Lord Kelvin (354), Lorentz (355), Picard (356), E. Rey (357), Boltzmann (358), etc

---

(351) KIRCHHOFF, *Ueber das Ziel der Naturwissenschaften* (traduction française), pp. 9 et 23 à 30.

(352) HELMHOLTZ, *Populärwissenschaftliche Vorlesungen,* vol. I, pp. 92 et suiv.

(353) MAXWELL, *La théorie de la chaleur,* 1 et 2 vol. 1891. « Quand nous avons acquis la notion de la matière en mouvement... nous sommes incapables d'aller plus loin et de concevoir qu'une addition quelconque, possible à nos connaissances, puisse expliquer l'énergie du mouvement », p. 386.

(354) LORD KELVIN (THOMSON), *Conférences scientifiques* (traduction française), p. 142. « La théorie cinétique des gaz, dit-il, bien connue aujourd'hui, constitue un si grand pas dans la voie qui conduit à expliquer par le mouvement des propriétés en apparence statiques de la matière, qu'on peut difficilement s'empêcher de pressentir la création d'une théorie complète de la matière, dans laquelle toutes ses propriétés apparaîtront comme de simples attributs du mouvement. »

(355) LORENTZ, *Mémoire lu à l'Académie d'Amsterdam,* avril 1910. — *La gravitation (Scientia,* avril 1914, vol. XVI, n. 36). — *Beginselen der Natuurkunde,* 2 vol. Leide, Brill, 1906, etc.

(356) PICARD, *La science moderne et son état actuel.* Paris, Flammarion, 1911.

(357) REY, *La théorie de la physique chez les physiciens contemporains,* Paris, Alcan, 1908. — *L'énergétique et le mécanisme.* Paris, Alcan, 1908. — *La philosophie moderne.* Paris, Flammarion, 1911.

(358) BOLTZMANN, *Leçons sur la théorie des gaz,* II[e] partie. Paris, 1905.

ARTICLE II

Critique de ce système

144. En quel sens est-il admissible ? — Ce système peut être envisagé sous des angles divers.

Nombreux sont les physiciens qui ne veulent voir dans la théorie nouvelle, qu'une méthode de classification, un moyen simple et naturel de mettre de l'ordre dans les données expérimentales, de mesurer les phénomènes, de systématiser les lois qui président à leur succession et à leurs changements, de prévoir et de découvrir des phénomènes et des lois nouvelles. L'explication mécanique, les modèles mécaniques ne sont pour eux que des images utiles et fécondes, sans relation nécessaire avec la réalité, qu'ils n'ont d'ailleurs nullement la prétention d'atteindre (359).

Ils n'accordent aucune place aux considérations ou aux recherches d'ordre métaphysique, mais s'ils manifestent à cet égard une complète indifférence, ils ne nient point qu'au delà du domaine physique, il puisse y avoir bien d'autres réalités dont la métaphysique a le droit de s'occuper. En un mot, la vraie réalité *physique*, ce sont les relations objectives que l'expérience, aidée de la théorie, a découvertes et établies entre les phénomènes observés.

Considéré sous cet aspect, le néo-mécanisme nous paraît absolument irréprochable. Les physiciens et les chimistes ont le droit de choisir les méthodes qui leur semblent les plus favorables pour organiser et accroître le contenu de la science. Pareilles méthodes, qui s'appellent théories ou hypothèses, n'étant que des instruments de découverte, d'exposition ou de systématisation, échappent à toute critique philosophique. Le physicien peut les juger d'après les services qu'elles rendent ; le philosophe n'a même pas compétence pour déclarer si elles sont conformes ou non à la réalité, puisqu'elles n'ont pas la prétention de l'exprimer.

145. Conséquences philosophiques naturelles de ce système. Première conséquence : exclusion réelle de la qualité du monde physique. — Mais cette sage réserve est-elle toujours bien gardée par les partisans du néo-mécanisme ?

D'abord, tous en conviendront, il est bien difficile de ne point céder aux suggestions de la méthode néo-mécaniste. Comme le dit H. Poincaré à propos du choix des théories physiques : « L'homme ne se résigne pas si aisément à ignorer éternellement le fond

(359) PICARD, *La science moderne et son état actuel*, p. 128. Paris, Flammarion, 1911.

des choses » (360). A se représenter tous les phénomènes sous l'aspect du mouvement local, à les réduire tous à cette unité fondamentale, à bannir partout et toujours de l'explication physique l'élément qualitatif au profit exclusif de l'élément quantitatif, on arrive, par une pente bien naturelle et facile, à identifier le phénomène avec son image, la réalité avec l'aspect particulier sous lequel on s'est plu à la considérer.

Sans doute, on peut affirmer avec Picard « que pour plusieurs physiciens, les équations de la physique sont des relations quantitatives entre des grandeurs, dont on ne dit pas si elles sont ou non qualitativement irréductibles » (361). Il reste vrai, que la tentation de croire au fait d'une réduction totale des phénomènes au mouvement, devient presque irrésistible pour qui cherche à la réaliser, ne fût-ce que théoriquement. De là, à réduire la nature phénoménale tout entière à l'unique mouvement local, et par suite à en proclamer l'homogénéité complète, il n'y a qu'un pas. Et ce pas semble avoir été plus d'une fois franchi.

Que de fois les partisans les plus décidés du système n'ont-ils pas déclaré, que les données de l'expérience sensible sont adéquatement représentables par des mouvements, que l'expérience est la source unique de nos connaissances certaines sur la matière? Quelle place reste-t-il dans pareil système pour l'élément qualitatif?

M. Rey, l'apôtre du néo-mécanisme, n'affirme-t-il pas que « tout se passe comme si les (phénomènes) étaient et n'étaient au fond que des grandeurs homogènes, réductibles et mesurables » (362) ? « Ce qui caractérise le mécanisme, dit-il encore, c'est qu'il admet l'homogénéité non seulement des phénomènes physico-chimiques, mais à la fois des phénomènes physico-chimiques et des phénomènes mécaniques. La nature est un système. L'homogénéité de la matière n'est, pour lui, ni un postulat, ni un principe. Mais on y arrive peu à peu, on est forcé de la conclure, à mesure que la réussite de la méthode y contraint » (363).

Enfin, pour M. Rey, « la nature de la matière n'est plus un problème métaphysique, parce qu'elle devient un problème d'ordre expérimental et positif. Certes ce problème n'est pas scientifiquement résolu... ce n'est pas la méyaphysique, c'est la science qui le résoudra » (364).

D'évidence, pareilles assertions nous ramènent au dogme fondamental du mécanisme traditionnel : les propriétés de la matière *ne sont* que du mouvement local. Que cette homogénéité s'impose

(360) H. Poincaré, *La science et l'hypothèse*, p. 258. Paris, Flammarion.
(361) Picard, *La science moderne et son état actuel*, p. 133.
(362) Rey, *La théorie de la physique*, p. 265. Paris, Alcan, 1907.
(363) Id., *Ibid.*, pp. 262-265.
(364) Id., *La philosophie moderne*, p. 170. Paris, Flammarion, 1911.

comme résultat de la réussite de la méthode, ou qu'elle soit posée en principe, du point de vue philosophique la doctrine est la même.

146. Deuxième conséquence : homogénéisation de la matière. — On dira peut-être : admettons que le néo-mécanisme aboutisse à la conception réelle et unitaire des phénomènes naturels ; n'y aura-t-il pas toujours, entre le phénoménisme du nouveau mécanisme et le substantialisme de l'ancien, une différence profonde, radicale ? Ce que le mécanisme entend par matière, n'est-ce pas uniquement la synthèse des relations les plus générales découvertes par l'expérience ?

En théorie, assurément. En fait, la différence est peut-être beaucoup moins grande qu'elle le paraît.

D'abord, ne serait-il pas illogique de croire à l'homogénrité réelle des phénomènes et de ne pas souscrire du même coup à l'unité essentielle de la matière ?

Si toutes les propriétés ne sont au fond que du mouvement local, pourquoi donc des quantités différentes de mouvement requerraient-elles des substances spécifiquement distinctes ? L'homogénéité des propriétés, réduites au mouvement, n'entraîne-t-elle pas forcément l'homogénéité du support ?

Le physicien peut bien faire abstraction de cette conséquence qui nous ramène, elle aussi, au second dogme du mécanisme cartésien ; le cosmologue, au contraire, est tenu de la relever et de l'admettre s'il adopte la conception des phénomènes préconisée par le néo-mécanisme.

En second lieu, le phénoménalisme scientifique n'est-il pas bien souvent, et cela en dépit des principes du système, un vrai phénoménalisme philosophique ? En d'autres termes, si l'on a exclu du domaine de la physique toute réalité qui n'est pas perceptible par les sens, n'est-ce pas en partie parce que l'on ne croit plus à l'existence de la substance ?

Loin de nous la pensée de généraliser cet état d'esprit. Mais est-il téméraire de l'attribuer à un certain nombre de physiciens modernes ?

En fait, pour plusieurs, la substance est une chimère, un mot vide de sens, une entité inutile.

Cette mentalité n'a rien d'étonnant, puisque la critique des théories physiques a coïncidé avec la critique de la connaissance. Il suffit, d'ailleurs, de parcourir la littérature scientifique pour y découvrir de fréquentes infiltrations du kantisme, du positivisme et du pragmatisme.

Or, pour les antisubstantialistes, il ne reste qu'une attitude possible : douer d'existence indépendante les phénomènes ou leur enchaînement, c'est-à-dire accorder à la réalité phénoménale les

attributs de la substance elle-même (365), car toute réalité doit avoir en elle les conditions requises d'existence ou les emprunter à un autre. Dans ce cas, le nouveau mécanisme, considéré philosophiquement, vient rejoindre l'ancien ; tous les deux proclament l'homogénéité substantielle et phénoménale de la matière. La seule différence, qui est d'ailleurs nulle au point de vue cosmologique, consisterait en ce que le néo-mécanisme fusionne la matière et ses propriétés en une seule réalité homogène, tandis que l'ancien admettait généralement une distinction entre le substrat matériel et son mouvement.

147. Troisième conséquence : exclusion de la vraie causalité. — L'attitude des néo-mécanistes à l'égard de la causalité se prête à des considérations analogues. Dans tout le domaine de la physique nouvelle, la causalité devient une fonction, ou une relation entre un antécédent et un conséquent. La qualité productrice, la cause efficiente est impitoyablement bannie des recherches physiques (366).

Simple procédé abstractif, dit-on. Soit, mais ici le procédé abstractif n'a-t-il pas une tendance à se transformer en procédé exclusif ?

Lorsque l'intelligence s'est habituée à ne voir dans tout enchaînement de phénomènes que l'ordre de succession, lorsqu'elle néglige systématiquement le rapport de cause à effet qui est, en réalité, la raison explicative de la succession, elle est bien exposée

---

(365) REY, *La théorie de la physique chez les physiciens contemporains.* Paris, Alcan, 1907. — Cfr. *La philosophie moderne,* p. 152. Paris, Flammarion, 1912. « Il n'y a pas à se demander, dit-il, s'ils (les éléments ou objets de nos sensations) pourraient être autres qu'ils ne sont. Le prétendre, c'est restaurer la vieille idole métaphysique de la chose en soi, au fond, le verbalisme oiseux sous une forme ou sous une autre. L'expérience doit s'accepter. Elle est à elle-même sa justification, puisque c'est elle qui, pour un esprit positif, dans le domaine scientifique, est la justification de toute proposition. » Et plus loin, p. 154, il ajoute : « le fond des choses, ce à quoi l'analyse est nécessairement amenée pour les expliquer, ce sont les relations, ou mieux le système des relations dont dépendent nos sensations. »

(366) REY, *Les idées directrices de la mécanique rationnelle (Revue philosophique,* avril 1912, p. 354). — *La philosophie moderne,* pp. 150-151. Paris, Flammarion, 1911 : « Cette notion de cause, dit-il, n'a d'ailleurs rien de transcendant ni de mystérieux ; elle ne signifie pas que la cause engendre l'effet, comme le croit le vulgaire, et d'une façon plus obscure, la métaphysique. Elle signifie simplement que, parmi nos sensations, la variation, l'apparition, la disparition des unes est liée à la variation, à la disparition des autres ; les unes sont fonction des autres, si bien qu'on peut rendre raison de la production des premières en faisant appel aux secondes. »

Pour le concept scientifique de la causalité, cfr. RIBOT, *L'évolution des principaux concepts,* pp. 214 et suiv. Paris, Alcan, 1909. « Condition, dit-il, égale cause, et la détermination importante n'est pas celle d'une entité agissante, mais d'un rapport constant. » C'est au fond, la définition de Stuart Mill : « La cause est la somme des conditions positives et négatives qui, étant posées, sont suivies d'un conséquent. »

à méconnaître l'existence même de la causalité. L'exclusivisme est facile et, en fait, il compte des partisans. « Affirmer qu'une chose est la cause d'une autre, ne peut avoir de sens, dit Enriquès, que s'il s'agit de reconnaître le lien de succession invariable entre deux phénomènes, déjà définis comme tels à l'aide de sensations » (367). Telle est aussi la pensée de Delbet (368).

Au surplus, dans l'hypothèse où l'on accorderait encore droit de cité à la causalité efficiente, il faudrait bien la placer dans l'élément fondamental de tous les phénomènes, savoir le mouvement, puisque la nature matérielle est censée ne contenir aucun principe qualitatif. Ainsi se révélerait un nouveau lien de parenté entre le mécanisme ancien et nouveau.

148. Conclusion. — En résumé, le nouveau mécanisme peut, s'il reste fidèle à son programme, se mettre à l'abri de toute critique philosophique.

Mais sa méthode de réduction de tous les phénomènes au mouvement local, son indifférence complète à l'égard de toute causalité, de toute réalité qui ne soit point contenue dans le champ de la perception sensible, l'exposent à un retour déguisé, mais réel, aux dogmes philosophiques fondamentaux du mécanisme traditionnel.

---

(367) HENRIQUEZ, *Les concepts fondamentaux de la science*, p. 114. Paris, Flammarion, 1913.

(368) DELBET, *La science et la réalité*, p 314. Paris, Flammarion, 1913.

LIVRE III

L'ATOMISME DYNAMIQUE

149. Exposé du système. — Les idées-mères de ce système se ramènent aux trois propositions suivantes :

1° La matière est essentiellement homogène.

2° Des forces *exclusivement mécaniques* suffisent à rendre compte de tous les phénomènes dont le monde est le théâtre (369).

3° Dans toutes les phases de leur évolution, les atomes intransformables conservent toujours leur être propre.

La première et la troisième proposition sont empruntées au mécanisme traditionnel et constituent le fond commun de ces deux théories. La seconde, qui substitue des énergies mécaniques au mouvement local, caractérise l'atomisme dynamique (370).

---

(369) Notons cependant que plusieurs auteurs admettent une connexion nécessaire, indissoluble entre l'être et ses énergies. Cette divergence de vues est d'ailleurs sans importance, comme nous le montrerons bientôt.

(370) Pour éviter toute équivoque, signalons ici une acception nouvelle du terme « mouvement », acception très différente de celle que lui avaient donnée Aristote et les philosophes du moyen âge.

Pour plusieurs savants modernes, le mouvement n'est plus l'acte ou la détermination d'un être en puissance en tant que tel, ou l'acheminement d'un corps vers sa perfection ; c'est la perfection même du corps, la source de son activité. Le changement de lieu, par exemple, ne constitue pas le mouvement lui-même, mais il accompagne le mouvement, il en est le résultat, le signe et la manifestation sensible. La raison en est que, sous le nom de « mouvement », ces auteurs entendent non seulement le déplacement local ou le mouvement proprement dit, mais l'énergie même du mobile, sa force ou son principe d'action. A parler rigoureusement, il faudrait donc distinguer deux sortes de mouvement : le *mouvement-force* et le *mouvement-changement*. Cfr. Dr Hallez, *L'analyse métaphysique du mouvement (Revue néo-scolastique,* avril 1895, pp. 130 et suiv.).

Nous regrettons de ne pouvoir partager l'enthousiasme de M. Hallez pour cette interprétation nouvelle. A notre sens, l'accouplement « mouvement-force » sonne mal, surtout lorsqu'on l'oppose au mouvement-changement. Que peut être un mouvement qui n'implique pas un changement ? Quelle nécessité y a-t-il de désigner par un même terme deux éléments essentiellement distincts comme le sont la force et le déplacement local ? La terminologie aristotélicienne n'a rien à gagner à ces innovations.

Quoi qu'il en soit, il est utile de ne point perdre de vue ce nouveau courant d'idées, si l'on veut se faire une conception exacte des systèmes cosmologiques modernes. Faute de le connaître, on risquerait de ranger parmi les partisans du mécanisme pur, tous les auteurs qui rapportent au mouvement, comme à leur cause réelle, la totalité des phénomènes cosmiques. En fait, c'est à l'atomisme dynamique que souscrivent les physiciens dont il est ici question.

Enfin notons encore une autre acception mentionnée par P. Duhem. « Dans la mécanique nouvelle, dit-il, le mot *mouvement* a un sens beau-

Généralement d'accord sur ces données principielles, les auteurs se divisent quand il s'agit de déterminer la nature et le nombre des forces mises en jeu par la matière.

Les uns les partagent en trois catégories : 1° Les *forces attractives* et *répulsives ;* elles agissent à distance et tendent sans relâche à produire le mouvement. — 2° La *force d'impulsion* dont la spécialité est de communiquer le mouvement par le choc ou la pression. — 3° La *force d'inertie* qui maintient les corps dans leur état de repos ou de mouvement en ligne droite (371).

D'autres n'accordent à la matière qu'une seule force essentielle, primordiale, la *pesanteur*. Cette opinion attribuée à Epicure, reprise plus tard par Gassendi, jouit des sympathies de plusieurs physiciens modernes, désabusés du mécanisme pur (372). C'est en effet le résultat auquel doit naturellement aboutir la tentative de réduire toutes les énergies corporelles à des modalités de la force gravifique.

Il en est pour qui la *force de résistance* « essentiellement inhérente à la matière », constitue la seule énergie vraiment irréductible (373).

Enfin, certains hommes de science donnent leurs préférences à la théorie dualiste des *forces attractives* et *répulsives* (374).

---

coup plus étendu que dans l'ancienne mécanique ; il ne désigne pas seulement le *mouvement local* qui, aux divers instants de la durée, fait occuper à un même corps des positions différentes ; il désigne encore tout changement de propriétés physiques et chimiques accompli dans le temps.

» Il en résulte qu'au sens nouveau du mot *mouvement*, un système peut être en mouvement bien que ses diverses parties occupent dans l'espace des positions invariables. Prenons, par exemple, un récipient de verre parfaitement clos, rempli d'hydrogène et de chlore et exposons-le à une lumière très peu intense ; dans le système, aucun déplacement ne se manifestera ; chaque volume élémentaire découpé dans l'espace contiendra à tout instant la même matière ; et cependant les propriétés de cette matière changeront d'un instant à l'autre ; l'hydrogène et le chlore se combineront et leur mélange se transformera peu à peu en acide chlorhydrique ; le *mouvement chimique* dont le système va être le siège ne sera accompagné d'aucun mouvement local. » Cfr. *De la statique et de la dynamique (Revue des Questions scientifiques,* t. 50, p. 137 ; 1901).

(371) H. MARTIN, *Philosophie spiritualiste de la nature,* t. II, c. 20, p. 87.

(372) Cfr. JAHR. *Urkraft oder Gravitation.* « Licht, Wärme, Magnetismus, Elektricität, chemische Kraft, etc. sind sekundäre Erscheinungen der Urkraft der Welt. » Berlin, Enslin, 1899. — BOUCHER, *Essai sur l'hyperespace,* p. 123. Paris, Alcan, 1905. « La pesanteur à la surface de la terre et la gravitation des astres, dit-il, sont deux formes de l'attraction universelle, dont l'affinité chimique, ou attraction entre les molécules, semble bien aussi dérivée. La lumière, la chaleur et l'électrictié sont aussi des manifestations analogues d'une même force. »

(373) P. TONGIORGI, *Cosmologia,* lib. I, c. III, a. 2.

(374) Newton semble avoir professé un certain mécanisme dynamique. Il admettait les forces d'impénétrabilité et de résistance, en même temps que les notions de masse et de mouvement, mais il paraît douteux qu'il ait accordé un sens métaphysique à la notion de force. Cfr. NEWTON, *Optices*

150. Examen de l'atomisme dynamique. Premier principe : l'homogénéité de la matière. —

Première critique. — Le grand fait qui domine l'ordre cosmique est le double finalisme d'organisation et de destination qu'on rencontre à chaque pas dans les œuvres de la nature. Chaque corps est le sujet d'une tendance immanente en vertu de laquelle il maintient l'intégrité de son être et poursuit d'après des lois invariables ses destinées naturelles. C'est pour avoir méconnu ce principe fondamental, clairement manifesté par les harmonies de l'univers et la constante récurrence des mêmes espèces (375), que le mécanisme se heurta à d'insurmontables difficultés dans le domaine de la chimie, de la physique, de la cristallographie.

Or, en reprenant pour son compte la thèse de l'homogénéité de la matière, l'atomisme dynamique supprime toute finalité interne, ou du moins, il ne peut la maintenir sans la dépouiller de ses caractères distinctifs.

Il n'y a pas de place, en effet, pour des tendances électives dans une matière partout identique (376). Fussent-ils doués d'inclinations foncières, des corps de même nature ont, de toute nécessité, la même orientation vers des fins absolument semblables.

Or, c'est justement sur la diversité des tendances internes que repose la diversité des propriétés, le caractère différentiel des activités des êtres, en un mot l'ordre cosmique.

Sans doute, la plupart des partisans de ce système ne refusent pas aux corps des forces inhérentes, même essentielles. Mais qu'importe ce lien nécessaire établi entre la substance et certaines de ses propriétés ? Ne faut-il pas attribuer à tous les êtres du monde inorganique un même principe foncier de finalité, les mêmes aptitudes naturelles, si, comme le veut l'hypothèse, la nature corporelle est universellement homogène ?

Deuxième critique. — Le mécanisme mitigé conduit à une autre conséquence non moins grave.

Les atomes, dit-il, sont indestructibles, ou plutôt intransfor-

---

L. 3, Q. 31 ; — *Philosophiæ naturalis principia mathematica,* def. 8. Cfr. aussi LAMINNE, *Les quatres éléments, le feu, l'air, l'eau, la terre,* p. 179 et passim, Bruxelles, Hayez, 1904.

(375) Cfr. Chap. II : Examen du mécanisme traditionnel, § 5, pp. 140 et suiv.

(376) Nous ne nions pas qu'une matière homogène, placée dans des circonstances physiques suffisamment diversifiées, puisse donner naissance à des natures diverses. Cette hypothèse nous paraît même très probable, pourvu qu'elle attribue aux êtres homogènes primitifs une nature véritable, c'est-à-dire un principe foncier de détermination et d'orientation. Mais nous croyons, au contraire, qu'une matière partout identique est inconciliable avec les caractères scientifiques de l'ordre cosmique, tel qu'il se présente à l'heure actuelle.

D'ailleurs, cette question sera discutée bientôt à propos des arguments invoqués par le mécanisme en faveur de l'homogénéité de la matière.

mables ; les combinaisons chimiques, n'en altérant jamais que la surface, sauvegardent leur être individuel.

Cela revient à dire que l'unité essentielle est l'apanage exclusif des masses atomiques, qu'en dehors des infiniment petits tout est agrégat.

Les composés inorganiques, le végétal, l'animal, l'homme lui-même sont donc de vraies colonies d'atomes ou d'individualités enchaînées par des forces mécaniques. Quelle que soit en effet la nature du principe qui les tient agglomérés, les atomes intransformables doivent conserver leur être propre à travers leurs multiples figurations (377).

Or, la science biologique aussi bien que la métaphysique condamnent pareilles conclusions.

151. Second principe de l'atomisme dynamique : toutes les forces corporelles sont exclusivement mécaniques. — Nous aurons plus tard l'occasion, au cours de l'exposé de la théorie thomiste, de faire la part de vérité et d'erreur que contient cette formule. Qu'il nous suffise de rappeler la doctrine dont nous donnerons plus loin la démonstration.

Bien que toutes les forces corporelles s'accompagnent toujours de mouvement local et méritent de ce chef le nom de forces mécaniques, plusieurs d'entre elles ont en outre un mode spécifique d'action. Telles sont les énergies physiques : la lumière, l'électricité, la chaleur, le son. Destinées à produire avant tout ces qualités différentielles que nous nommons état thermique, couleur, etc., états manifestement irréductibles à un simple déplacement de la matière, elles se distinguent essentiellement des forces mécaniques ordinaires dont l'effet propre est le mouvement local.

M. Boutroux fait à ce sujet une remarque pleine d'à-propos :

« La sensation de chaleur, dit-il, est radicalement hétérogène par rapport à la sensation du son. Puisque cette hétérogénéité ne peut trouver son explication dans la nature de la conscience, il reste qu'elle ait sa racine dans la nature des choses elles-mêmes et que la matière ait la propriété de revêtir des formes irréductibles entre elles. Or, l'hétérogénéité est étrangere à l'essence de l'étendue figurée et mobile, c'est-à-dire de la matière proprement dite Le mouvement vibratoire lui-même ne peut être dit hétérogène à l'égard du mouvement de translation. Ce sont simplement grandeurs, directions, intensités, modes divers d'un même phénomène... La matière ébranlée semble n'être dans les objets sensibles

---

(377) Nous parlerons, dans l'examen de la théorie scolastique, d'une nouvelle hypothèse qui tend à concilier la persistance des masses atomiques avec l'unité des êtres vivants.

que le véhicule de propriétés supérieures, lesquelles sont les propriétés physiques proprement dites » (378).

D'ailleurs, la spécificité des organes des sens destinés à nous faire connaître les forces physico-chimiques, demeure un fait inexplicable pour qui n'admet pas la spécificité de ces forces.

Les sciences naturelles, il est vrai, ne peuvent traduire en formules l'aspect qualitatif des phénomènes physiques ; elles se bornent à en exprimer l'intensité par la mesure d'un phénomène concomitant plus accessible à l'analyse, le mouvement local. Ce n'est point un motif pour en nier l'existence.

Au surplus, des physiciens d'une incontestable valeur ne craignent pas d'affirmer qu'à l'heure présente, aucun fait ne justifie la réduction de toutes les énergies matérielles à des forces purement mécaniques, et que les équations mathématiques ne nous représentent point l'être intégral des qualités corporelles (379).

152. Conclusion. — L'atomisme dynamique s'est arrêté à mi-chemin. A l'encontre du mécanisme pur, il a compris, que dépouiller la matière de tout principe interne d'activité, c'est s'interdire manifestement l'explication des faits et livrer l'univers aux caprices du hasard. Cédant aux exigences de l'ordre, plusieurs

---

(378) BOUTROUX, *De la contingence des lois de la nature*, 2e éd., p. 64. Paris, Alcan, 1895.

« Quant à croire, écrit M. Dunan, que les mouvements de la matière cosmique puissent, en agissant sur un sujet sensible, déterminer dans ce sujet des impressions telles que le son ou la couleur, c'est une supposition énorme, contre laquelle la raison philosophique protestera toujours. Cfr. *La perception des corps (Revue philosophique*, t. LIII, 1902, p. 571).

En somme, cette doctrine est la traduction de la pensée thomiste.

« Potentia, écrit saint Thomas, secundum illud quod est potentia, ordinatur ad actum. Unde oportet rationem potentiæ accipi ex actu ad quem ordinatur, et per consequens oportet quod ratio potentiæ diversificetur ut diversificatur ratio actus. Ratio autem actus diversificatur secundum diversam rationem objecti, omnis enim actio vel est potentiae activae vel passivae. Objectum autem comparatur ad actum potentiae passivae sicut principium et causa movens ; color enim, inquantum movet visum, est principium visionis. Ad actum autem potentiae activae comparatur objectum ut terminus et finis, sicut augmentativae virtutis objectum est quantum perfectum, quod est finis augmenti. Ex his autem duobus actio speciem recipit scilicet ex principio, vel ex fine, seu termino. Unde necesse est quod potentiae diversificentur secundum actus et objecta... Non quaecumque diversitas objectorum diversificat potentias, sed differentia ejus ad quod per se potentia respicit ; sicut sensus per se respicit passibilem qualitatem, quae per se dividitur in colorem, sonum et ejusmodi ». Cfr. *Summ. Theol.*, p. I, q. 77, a. 3.

(379) Cfr. DUHEM, *Sur quelques extensions récentes de la statistique et de la dynamique (Revue des Questions scient.*, t. 50, avril 1901). — *L'évolution de la mécanique :* La physique de la qualité, pp. 197 et suiv. Paris, A. Joannin, 1903. — VIGNON, *Notion de la force*, etc. Paris, Société zoologique de France, 1900. — HIRN, *La notion de la force. — L'analyse élémentaire de l'univers*, Paris, Gauthier-Villars. — OSTWALD, *L'énergie*, pp. 128 et suiv. Paris, Alcan, 1910, etc.

Cette question sera traitée *ex professo* dans le second volume de cet ouvrage.

même ont demandé à la substance la raison de ses énergies. Conclusion logique, mais incomplète ! Car, en dernière analyse, il n'y a que la *diversité substantielle* qui puisse garantir la constance que l'on observe dans la *diversité accidentelle* des êtres.

Ce système est donc un acheminement vers la théorie scolastique, que nous exposerons plus tard, et doit fatalement y arriver, sous peine de ne donner qu'une solution partielle du problème cosmologique.

LIVRE IV

ARGUMENTS INVOQUÉS
par le mécanisme traditionnel, le néo-mécanisme et l'atomisme dynamique

---

ARTICLE PREMIER

Arguments tirés de la physique

§ 1

L'équivalent mécanique de la chaleur et la loi de corrélation et d'équivalence des forces de la nature.

153. Exposé du fait. — 1° L'équivalent mécanique de la chaleur. — Vers le milieu du siècle dernier, la science s'est enrichie d'une conquête importante qui fut, pour l'étude de la nature matérielle, le début d'une ère nouvelle. « Par son titre des plus modestes, écrit M. Hirn, la *théorie mécanique de la chaleur* semble n'être qu'une branche spéciale d'une partie limitée de la physique. En réalité, elle constitue une science tout entière dont toutes les autres sont déjà devenues tributaires » (380).

Etroitement liée à la mécanique, comme l'indique d'ailleurs son nom, cette théorie franchit bientôt les frontières du domaine expérimental où elle se montrait si féconde en résultats utiles, s'étendit peu à peu au champ de la philosophie et devint l'une des assises du mécanisme universel.

Pour en donner une juste idée, précisons d'abord le sens de deux expressions : le travail mécanique et la calorie.

La chaleur ne peut être ni jaugée ni pesée. On n'a d'autre moyen de l'évaluer que par ses effets, c'est-à-dire, par l'impression qu'elle exerce sur nos organes sensoriels ou par les variations du volume des masses soumises à son action.

La dilatation régulière du thermomètre indique exactement *l'intensité* de la force calorifique actuellement libre dans un corps donné ; elle en mesure la température, mais elle ne peut exprimer d'une manière immédiate la *quantité* de chaleur présente. D'évi-

---

(380) HIRN, *Analyse élémentaire de l'univers*, p. 17. Paris, Gauthier-Villars.

dence, cette quantité et ses variations en plus ou en moins dépendent à la fois, et de l'intensité de la chaleur, et de la masse du corps qui subit son influence.

En combinant ces deux éléments, on arrive à une mesure relative tout à fait correcte. C'est ce qu'on fait en physique : on appelle *unité de chaleur* ou *calorie* la quantité de chaleur qu'il faut communiquer à un kilogramme d'eau à 0° pour élever sa température d'un degré du thermomètre centigrade.

La seconde notion à élucider est celle du *travail mécanique.*

Toutes choses égales, la vitesse qu'acquiert une masse matérielle soumise à l'action d'une force, dépend en même temps de l'intensité de cette force et de l'espace que le corps parcourt sous son empire. Le produit de ces deux facteurs, l'espace parcouru et la grandeur de la force, représente donc fidèlement la quantité d'action dépensée ou développée par celle-ci. On donne à ce produit le nom de *travail mécanique.*

Afin de faciliter l'évaluation d'un travail quelconque, on a choisi pour unité de poids ou de force le kilogramme, et pour unité de longueur le mètre ; et l'on appelle *kilogrammètre,* la quantité d'action qu'il faut dépenser pour élever à un mètre de hauteur, un poids d'un kilogramme, en une seconde de temps (381).

Apparemment étrangères l'une à l'autre, ces deux unités de mesure, l'unité de chaleur et l'unité de travail mécanique, ont néanmoins entre elles une étroite connexion.

Le frottement, le choc, la percussion, la compression des corps développent du calorique. Par contre, la chaleur produit du travail mécanique : elle dilate les corps, les volatilise, et par là détermine des mouvements plus ou moins intenses. Les machines à vapeur nous en donnent un bel exemple.

Or, toutes les fois que l'action du calorique sur un corps donne naissance à un travail mécanique, il se consomme une quantité de chaleur proportionnelle au travail produit. Réciproquement, toutes les fois qu'un travail mécanique est consommé uniquement en vue de modifier l'état d'équilibre interne d'un corps, il se développe une quantité de chaleur proportionnelle au travail dépensé.

Entre le travail produit ou consommé et la chaleur consommée ou produite, il existe donc un rapport bien déterminé. C'est ce rapport qu'on appelle *l'équivalent mécanique de la chaleur.*

Tel est le principe découvert par Meyer ; telle est la proposition fondamentale sur laquelle repose la théorie dynamique de la chaleur.

Les travaux de ce physicien et notamment ceux de Joule et de

---

(381) Cfr. HIRN, *op. cit.*, p. 20. — FREYCINET, *Sur les principes de la mécanique rationnelle,* pp. 20 et suiv. Paris, Gauthier-Villars, 1902.

Rumford nous ont aussi fourni la mesure de cet équivalent : une calorie, totalement utilisée à produire un effet mécanique, peut soulever 425 kilogrammes à un mètre de hauteur. Réciproquement, une dépense de 425 kilogrammètres peut réaliser un effet thermique équivalent à une calorie.

154. — 2° Extension de la loi de corrélation. — Cette loi d'équivalence, que nous venons de constater entre les phénomènes thermiques et dynamiques, paraît embrasser toutes les forces de la nature.

Lorsqu'un corps non élastique tombe d'une certaine hauteur sur un plan horizontal résistant, le corps s'échauffe et la chaleur dégagée représente exactement la force vive disparue ; il y a équivalence entre l'action de la *force calorifique* et celle de la *force gravifique*. L'une s'est substituée à l'autre.

Lorsqu'un courant électrique traverse un corps conducteur, il l'échauffe ; et si le même courant passe par un moteur électro-magnétique, il peut produire un travail externe, élever un poids à une certaine hauteur.

Dans ce cas, trois forces se remplacent successivement suivant un rapport fixe et déterminé : *l'électricité*, la *chaleur* et la *force gravifique*.

De même, si l'on soude ensemble deux métaux de nature différente et qu'on tienne l'une des soudures à une température constante, un courant électrique parcourt le circuit dès que l'autre soudure est exposée à une température supérieure ou inférieure. Ici, c'est la *chaleur* qui semble se convertir en *force électrique*.

Enfin, autre phénomène non moins significatif, lorsqu'un rayon de lumière pénètre dans l'œil, il s'y éteint en provoquant dans la rétine un courant électrique d'égale intensité. L'*électricité* prend la place de la *lumière* disparue.

On le voit, la pesanteur, la chaleur, la lumière et l'électricité sont reliées entre elles par une loi de corrélation et d'équivalence ; elles se substituent l'une à l'autre, mais de telle manière que, si l'une se manifeste, l'intensité de l'autre s'abaisse proportionnellement (382).

155. Argument tiré de ce double fait. — Sur ces données expérimentales, le mécanisme a fondé l'une des preuves dont il aime le plus à se réclamer.

On ne peut nier, dit-il, que le travail mécanique soit un mouvement local pur et simple, un transport de la matière. Or le travail mécanique se transforme en chaleur, comme celle-ci, à son tour, se transforme en travail. Le calorique est donc une modalité du mouvement local.

---

(382) HIRN, *Analyse élémentaire de l'univers*, p. 140.

Mais la chaleur se convertit aussi en électricité, lumière et magnétisme, car, nous l'avons vu, toutes les forces de l'univers se transforment les unes dans les autres. Puisqu'elle n'est elle-même qu'une sorte de mouvement, il faut attribuer la même nature à toutes les phases de ses transformations.

Toutes les énergies matérielles se réduisent donc au mouvement local ou n'en sont que des modes divers.

Ainsi se justifie le dogme fondamental du mécanisme : le monde avec l'infinie variété de ses activités est l'œuvre de deux facteurs indestructibles : la masse homogène et le mouvement (383).

156. Critique de cette preuve. — 1° L'équivalent mécanique de la chaleur. — Pour qui veut apprécier la portée philosophique de la loi mentionnée et juger de la valeur des conclusions qu'on en tire, deux questions sont à résoudre :

1° Les diverses méthodes employées par les physiciens pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur nous donnent-elles un indice quelconque de la *nature* intime soit de la chaleur, soit du travail mécanique ?

2° La vérité de cette loi d'équivalence dépend-elle des opinions

---

(383) « Dès l'instant, écrit Freycinet, que la chaleur est directement équivalente à la force vive, elle cesse d'être la substance mystérieuse, distincte de la matière, qui tantôt pénètre les corps et tantôt se retire d'eux. Mais elle apparaît bien plutôt comme une vibration, comme une forme particulière, quoique infiniment subtile, du mouvement qui nous est familier. Il en est de même de l'électricité, de la lumière, de la puissance chimique. Leur équivalence vis-à-vis de la force vive s'accuse de jour en jour et fait pressentir l'identité fondamentale des divers modes d'activité de la nature. » *Sur les principes de la mécanique rationnelle*, pp. 138 et suiv. Paris, Gauthier-Villars, 1902.

Telle est aussi la conclusion de Tyndall : « Nous ne connaissons les choses que par leurs effets. Quels sont donc les effets que peuvent produire la lumière et la chaleur ? Sur la terre, lorsque nous opérons sur elles, nous les trouvons capables de produire du mouvement. Nous pouvons soulever des poids avec elles ; nous pouvons faire tourner des roues avec elles ; nous pouvons avec elles faire marcher des locomotives ; nous pouvons lancer des projectiles avec elles. Quelle conclusion pouvons-nous tirer de là, sinon que la lumière et la chaleur qui produisent ainsi du mouvement *sont elles-mêmes des mouvements ?* » Cfr. *La lumière*, p. 118. Paris, Gauthier-Villars, 1872 *(Actualités scientifiques*, publiées par l'abbé Moigno).

Cfr. Clerck Maxwell, *Theory of heat*. London, 1872. — Tait, *Esquisse historique de la théorie dynamique de la chaleur*. Paris, Gauthier-Villars, 1870. « La cause immédiate du phénomène de la chaleur est donc, dit-il, le mouvement, et les lois de sa communication sont exactement les mêmes que celles du mouvement » (p. 9). « Il me semble très difficile, ajoute-t-il, sinon impossible, de se former une idée nette d'une chose qui se produit et se communique comme la chaleur se produit et se communique dans ces expériences, à moins que ce ne soit que du *mouvement* » (p. 10). — Daguin, *Traité élémentaire de physique*, t. I, n. 84. *De l'essence des forces*. — Clausius, *Théorie mécanique de la chaleur*. Paris, Hetzel. — Büchner, *Force et matière*, pp. 8 et suiv. Leipzig, Thomas, 1884, etc., etc...

philosophiques, émises par différentes écoles sur l'essence des forces matérielles ?

Réponse à la première question. — Une des méthodes les plus pratiques de détermination est celle de Joule. D'ailleurs, du point de vue qui nous occupe, il est facile d'y ramener toutes les autres (384).

Ce savant s'est servi d'un calorimètre à eau dans lequel tournait un arbre vertical muni de palettes. La rotation s'opérait par deux cordons enroulés dans le même sens sur un treuil fixé à l'arbre des palettes, mais se déroulant suivant deux tangentes diamétralement opposées. La descente des poids attachés à ces cordons mettait en mouvement l'arbre vertical et partant l'eau du calorimètre, qui, par sa résistance au mouvement imprimé, élevait sa température d'un certain nombre de degrés.

Dans cette expérience, le calcul du travail mécanique disparu et de la chaleur produite se fait sans trop de difficultés. Le nombre de kilogrammes ainsi suspendus multiplié par la hauteur de chute représente en kilogrammètres le phénomène dynamique ; le produit du poids de l'eau par le nombre de degrés dont elle s'est échauffée à la suite de cette agitation, mesure l'effet thermique.

Examinons d'abord la chaleur développée.

La *quantité* du calorique dépend évidemment de deux facteurs: de la quantité de liquide et de la température.

Le premier de ces facteurs ne contient aucune indication sur la *nature* du phénomène thermique dont il est le sujet.

Quant à la température, le seul moyen pour nous d'en apprécier l'intensité, est le thermomètre. Or sur quoi se fonde la construction de cet instrument ? Sur ce principe, que les corps soumis à l'action de la chaleur subissent une certaine dilatation : si le thermomètre est mis en contact avec un corps plus chaud, il gagne du calorique et se dilate ; si ce corps est plus froid, il perd sa chaleur et se contracte. L'unique fait constatable dans les variations du thermomètre est donc la dilatation de la colonne thermométrique, ou sa contraction, appréciable en degrés et proportionnelle à la différence d'état thermique.

Or cette dilatation constitue-t-elle la chaleur sensible ? Non, et les physiciens eux-mêmes le concèdent volontiers. C'est un phénomène mécanique qui accompagne et mesure le phénomène thermique, mais dans ce mouvement ne réside point la chaleur qu'il nous est impossible d'atteindre dans sa nature propre.

De quel droit l'identifierait-on avec le mouvement local ?

Les expériences précitées n'éclairent pas davantage l'être intime du travail mécanique.

---

(384) C'est le cas pour les méthodes de Meyer, de Hirn et de Favre.

Comme il a été dit, sous l'action de la pesanteur les poids tombent et actionnent l'arbre à palettes. Or la pesanteur réside-t-elle dans un simple mouvement ? N'est-elle pas plutôt une énergie véritable dont l'action s'accompagne de mouvement ? Enfin faut-il rapporter à cette force motrice ou au mouvement lui-même l'agitation de l'eau et la chaleur qui en résulte ? Toutes ces questions sont étrangères aux données expérimentales : le travail se trouve en tous points déterminé, pourvu que l'on tienne compte du poids des masses, de la vitesse et de la hauteur de leur chute.

Réponse à la deuxième question. — La constatation du principe mentionné est donc absolument indépendante de toute conception philosophique relative à la nature de la chaleur et du travail mécanique, et par conséquent, la conclusion que les mécanistes prétendent en tirer en faveur de leur système n'a qu'une valeur subjective.

157. Opinion des physiciens. — D'ailleurs, plusieurs physiciens de marque partagent entièrement cet avis.

« C'est encore ainsi, écrit M. Mach, que procéda Meyer en posant son principe de l'équivalence du travail et de la chaleur ; les conceptions mécaniques de la nature lui restèrent parfaitement étrangères ; il n'en eut nul besoin. Ceux qui se servent des béquilles des conceptions mécaniques de la nature pour parvenir à la reconnaissance de l'équivalence du travail et de la chaleur, ne comprennent qu'à moitié le progrès réalisé par ce principe » (385).

Le langage de L. Poincaré est tout aussi catégorique.

« Il est bien clair, dit-il, que de telles expériences ne prouvent pas que la chaleur soit du travail ; l'on pourrait aussi bien dire que le travail est de la chaleur. C'est faire une hypothèse gratuite que d'admettre cette réduction de la chaleur au mécanisme ; mais cette hypothèse était si séduisante, si conforme aux désirs de presque tous les physiciens d'arriver à une sorte d'unité dans la nature, qu'ils la firent avec empressement.

« Leur tort ne fut pas d'admettre cette hypothèse, mais quelques-uns d'entre eux commirent la faute d'oublier qu'elle était une hypothèse » (386).

Pour M. Bouty, « de même que la valeur du kilogramme de chaque denrée est d'ordinaire évaluée en or, la valeur de chaque sorte d'énergie est évaluée par son équivalent en travail mécanique. Sous ce point de vue, le seul qu'autorisent absolument les expériences, de l'énergie mécanique... de la chaleur n'ont pas

---

(385) MACH, *La mécanique*, p. 470. Paris, Hermann, 1904.

(386) L. POINCARÉ, *La physique moderne, son évolution*, p. 64. Paris, Flammarion, 1909.

entre elles plus d'identité que du blé, de la soie, du fer ou de l'or » (387).

Non moins satirique est la critique du Dr. Le Bon : « En réalité, dit-il, la chaleur, ou une forme quelconque d'énergie, équivaut au travail à peu près comme une pièce de vingt sous équivaut à la livre de bœuf qu'elle permet d'acheter » (388).

Telle est aussi l'opinion de M. Picard (389), de M. Ostwald (390) et de plusieurs autres physiciens, notamment de M. Duhem (391).

158. — 2° **La loi de corrélation et d'équivalence.** — Qu'il existe un rapport constant entre le travail dépensé et la chaleur produite, que les deux phénomènes se substituent régulièrement l'un à l'autre sans perte ni accroissement d'énergie, c'est un fait incontestable. Mais quel est le caractère de ce lien de succession ? L'observation directe atteint le fait sans pouvoir en saisir le mode de réalisation.

A priori trois hypothèses semblent en rendre compte :

1° Le mouvement dynamique se transforme en mouvement calorifique ; c'est la thèse favorite du mécanisme.

2° La force motrice, dont l'action est inséparable d'un certain mouvement, produit l'état thermique, c'est-à-dire une force accompagnée d'un mouvement proportionnel à son intensité.

3° La force motrice n'est pas la cause directe, immédiate de la chaleur, mais par son action sur l'eau, elle provoque le déploiement d'une énergie calorifique préexistante, en sorte que l'activité de cette puissance intrinsèque répond exactement à l'excitation reçue.

A s'en tenir uniquement à l'expérience, l'on n'a donc aucun motif sérieux d'arrêter son choix sur l'une ou l'autre de ces théories, car, si l'on applique aux deux dernières le principe de l'égalité entre l'action et la réaction, elles jouissent toutes d'une égale probabilité. S'il est vrai en effet qu'il ne se produit aucun phénomène dynamique qui n'ait son exacte contre-partie, il est naturel que la force motrice disparaisse au profit d'un phénomène thermique de même valeur.

En accordant leurs préférences à la première de ces conceptions, les mécanistes n'ont donc point cédé à des préoccupations d'ordre scientifique, ni aux exigences des faits. La prudence leur commandait de suspendre leur jugement et de demander à la

(387) Bouty, *La vérité scientifique*, p. 271. Paris, Flammarion, 1908.
(388) Le Bon, *L'évolution des forces*, p. 41. Paris, Flammarion, 1912.
(389) Picard, *La science moderne et son état actuel*, p. 130. Paris, Flammarion.
(390) Ostwald, *L'énergie*, passim. Paris, Alcan, 1910.
(391) Duhem, *L'évolution de la mécanique*, p. 185 et passim. Paris, Joannin, 1903.

métaphysique la lumière que l'expérience ne pouvait point leur donner (392). Ils ont pris parti pour l'hypothèse la plus favorable à leur système préconçu ; en cela se trouve le vice radical de leur méthode.

C'est en substance, la conclusion même de M. Hirn.

« On a coutume d'affirmer, dit-il, que toutes les forces se transforment les unes dans les autres. Il est beaucoup plus correct et plus libre de toute hypothèse de dire, que quand l'une se manifeste, l'intensité de l'autre s'abaisse proportionnellement. Toutes peuvent se traduire en un certain travail mécanique qu'elles peuvent rendre dans les conditions convenables. »

« Le principe de Mayer s'applique donc à toutes les forces de la nature, l'électricité, la lumière, le magnétisme, la gravitation, etc. Si, dans un phénomène quelconque, il se produit par exemple de l'électricité, nous sommes certains qu'il se dépense ou de la lumière, ou de la chaleur, ou du travail mécanique en quantité équivalente. Il y a équivalence quantitative au point de vue des effets produits ; mais pas un fait, pas le plus minime d'entre eux ne nous autorise à affirmer ou à nier que la lumière, la chaleur, l'électricité doivent être rapportées è un même principe » (393).

159. Opinion des physiciens modernes sur la transformation des forces. — Plusieurs physiciens modernes se rallient à cet avis.

M. L. Poincaré ne voit dans la transformation des énergies qu'une hypothèse vraisemblable.

« Il est naturel, dit-il, de supposer que ces apparitions et ces disparitions équivalentes correspondent à des transformations et non à des créations et à des destructions simultanées ; l'on se représente ainsi que l'énergie prend des formes différentes... capables de se changer les unes dans les autres, mais de façon que la valeur quantitative en reste toujours la même » (394).

Ailleurs, lorsqu'il applique cette hypothèse à l'énergétique, il lui devient même peu sympathique. « Cette manière excessive d'envisager les choses, ajoute-t-il, peut séduire par son originalité,

---

(392) « La loi dont il s'agit, écrit M. Boutroux, loin de prouver la possibilité des transformations, les exclut. En effet, elle n'est obtenue qu'en éliminant l'hétérogène pour ne considérer que l'élément homogène des choses. Le physicien écarte, pour la renvoyer au physiologiste, au psychologue, ou au métaphysicien, la meilleure partie de l'essence des phénomènes physiques ; et les lois qu'il pose ne concernent que les relations quantitatives que l'on peut découvrir dans ce phénomène. » Cfr. BOUTROUX, *De l'idée de loi naturelle*, p. 55. Paris, Société française d'imprimerie, 1913. — DAURIAC, *Des notions de matière et de force dans les sciences de la nature*. Paris, Alcan.

(393) HIRN, *Analyse élémentaire de l'univers*, pp. 326 et suiv.

(394) L. POINCARÉ, *La physique moderne*, p. 66. Paris, Flammarion, 1909.

mais elle paraît quelque peu insuffisante, si après avoir énoncé des généralités, on veut serrer de près la question. En tous cas, cette conception dépasse l'expérience » (395).

D'après M. Le Bon, « la théorie moderne de la transformation des diverses formes d'énergie semble n'être qu'une illusion résultant de ce qu'on a choisi pour les mesurer, une même unité, le travail évalué en kilogrammètres ou en calories ».

« Les transformations, dit-il, sont apparentes, analogues à celle de la monnaie en marchandises. Avec une pièce de 5 francs, on obtient un mètre d'étoffe de soie, mais personne ne suppose que l'argent dont se compose la pièce s'est transformé en soie... Les forces de la nature ne se transforment pas » (396). « Quand du mouvement ou de l'électricité produisent de la chaleur, cela ne signifie-t-il pas qu'avec des moyens dissemblables on arrive à obtenir les variations d'équilibre moléculaire d'où résulte la chaleur ? (397) »

Citons aussi le jugement plein d'à-propos de M. Mach :

« Comme dans la nature, un travail effectué peut ne pas produire uniquement de la force vive, mais aussi une quantité de chaleur, ou un potentiel d'une charge électrique... on vit dans ce principe l'affirmation d'un phénomène mécanique à la base de tous les phénomènes naturels. Il n'exprime cependant rien d'autre qu'une relation quantitative invariable entre les phénomènes mécaniques et les phénomènes d'autres catégories » (398).

M. Picard se pose à lui-même la question : « De l'équivalence des différentes formes d'énergie peut-on conclure à leur identité ? »

« La question pour l'expérimentateur, dit-il, n'a pas de sens ; c'est un peu comme si on se demandait si deux corps sont identiques parce qu'ils ont le même poids » (399).

Enfin, M. Ostwald, qui est cependant partisan de la transformation des énergies, défend avec non moins de vigueur leur distinction spécifique et leur irréductibilité au mouvement local (400).

160. Quelle est la cause de la loi de corrélation ? — Quand on se place exclusivement sur le terrain scientifique, comme nous venons de le faire, le lien qui rattache les uns aux autres les phénomènes de la nature est susceptible d'une triple interprétation. Il n'en est plus de même lorsqu'on le soumet à l'analyse métaphysique.

---

(395) Id., *op. cit.*, p. 66.
(396) Le Bon, *L'évolution des forces*, p. 65. Paris, Flammarion, 1912.
(397) Id., *op. cit.*, p. 66.
(398) Mach, *La mécanique*, p. 469. Paris, Hermann, 1904
(399) Picard, *La science moderne et son état actuel*, p. 130. Paris, Flammarion.
(400) Ostwald, *L'énergie*, pp. 119-130, Paris, Alcan, 1910.

D'abord, la conception mécanique qui réduit toutes les forces matérielles à du mouvement local, et ne voit dans leur succession régulière que les étapes d'une transformation progressive d'un seul et même mouvement primitif, cette conception, disons-nous, ne résiste pas à l'épreuve des données indiscutables de la philosophie.

Jamais le mouvement n'a produit ou ne produira aucun effet quelconque (401) et l'hypothèse de ses transformations en des modalités diverses, commode peut-être pour l'imagination, n'en demeure pas moins vide de sens (402).

Devant l'insuffisance de cette interprétation, insuffisance manifeste au double point de vue de la nature des phénomènes et de la loi de corrélation, nous devons attribuer à des pouvoirs dynamiques réels le rôle usurpé par le mouvement, et restituer à la pesanteur, au travail mécanique, à la chaleur, à l'électricité, l'élément force dont le mécanisme les a dépouillés.

Dès lors se présentent les deux hypothèses mentionnées plus haut, relatives toutes deux au lien de succession :

Le phénomène qui disparaît, par exemple, le travail mécanique, est-il cause efficiente directe du phénomène nouveau, la chaleur ?

Ou bien le premier est-il simplement la cause excitatrice du second ?

A vrai dire, le fait s'explique dans les deux suppositions. Seulement, la première conduit à des conséquences inadmissibles.

Une même cause en effet peut provoquer l'apparition successive de plusieurs énergies physiques. Ainsi, le travail mécanique donne souvent naissance à un dégagement de chaleur. La chaleur à son tour, par son action sur certains corps développe une force électrique, ou de la lumière, ou des forces répulsives, etc.

Or, supposé que le travail mécanique soit cause productive de la chaleur ; en vertu du principe de causalité, il faudrait accorder à ces deux énergies une communauté de nature et, de plus, regarder la chaleur comme une force extrinsèque au corps échauffé. A son tour, cette puissance communiquée du dehors rend le corps, qui l'a reçue, apte à produire chez un autre un phénomène électrique. L'électricité sera donc, elle aussi, une modalité de la force calorifique et, en dernière analyse, de la force motrice. Appliquez enfin ce procédé aux autres énergies du monde corporel, vous arriverez à cette conclusion, que toutes les puissances des êtres sont *homogènes* et *extrinsèques*. C'est le mécanisme mitigé.

La seconde hypothèse évite ces conséquences.

Elle sauvegarde la diversité spécifique des forces physiques ainsi que leur connexion nécessaire avec le fond substantiel. Pour

---

(401) Cfr. n. 125.
(402) Cfr. n. 135.

elle, la chaleur, l'électricité, la lumière, etc. préexistent dans les corps à toute influence extérieure, mais leur mise en branle est subordonnée à certaines conditions, entre autres aux excitations communiquées du dehors.

Lorsque, par exemple, nous échauffons un corps par le frottement, ce n'est pas à l'énergie mécanique dépensée qu'il faut rapporter la chaleur produite. Celle-ci relève au contraire d'une cause interne, dont l'intensité d'action correspond exactement à l'excitation reçue. De la sorte, la disparition de la cause excitatrice ne présente aucune difficulté, car elle est le résultat fatal d'une réaction équivalente. D'autre part, le phénomène nouveau reçoit toujours de son devancier la mesure adéquate de son déploiement.

§ 2

Les phénomènes de radioactivité

161. Exposé de l'argument. — Les phénomènes de radioactivité ont jeté un jour nouveau sur la constitution de l'atome chimique.

Jusqu'en ces dernières années, de nombreux chimistes considéraient l'atome comme le dernier degré d'atténuation de la matière, comme l'élément irréductible des corps simples. Mais sous la main des physiciens, l'atome lui-même s'est désagrégé en de multiples particules où se révèle son étonnante complexité. Il est un monde, mais un monde dont les constituants présentent un caractère de simplicité non moins étonnant. Malgré leur grande diversité, tous les atomes des corps élémentaires sont constitués d'électrons, c'est-à-dire d'atomes d'électricité, en sorte que l'électricité et la matière se confondent. La substance primordiale d'où résulte l'infinie variété des corps, se trouve enfin découverte. Il est même permis de dire qu'elle prend place parmi les données expérimentales.

« De telles conquêtes de l'*atomisme* ont enhardi, à juste titre, les tenants des théories mécanistes. Si la réduction de la matière à l'électricité constitue non plus une variété du mécanisme, mais une doctrine différente qu'on pourrait appeler l'*électro-dynamisme*, cette doctrine est manifestement proche parente des théories mécanistes » (403).

Tel est dans ses grandes lignes l'argument nouveau.

---

(403) BRUNHES, *La dégradation de l'énergie*, p. 318. Paris, Flammarion, 1908.

Citons à ce sujet l'avis de quelques physiciens et chimistes.

« La tendance de la jeune physique, écrivent MM. Urbain et Sénéchal, est d'identifier la matière et l'électricité » (404).

« L'idée que tous les corps supposés simples dérivent d'un élément unique à divers états de condensation ou de combinaison, dit M. Le Bon, vient si naturellement à l'esprit qu'elle fut émise dès que la chimie se constitua. Après avoir été abandonnée faute de preuves, elle renaît depuis que les expériences récentes sur la dissociation de la matière ont paru montrer que les produits, résultant de la dissociation des divers corps, sont formés des mêmes éléments. » Et il ajoute : « On peut donc admettre, comme infiniment probable, que tous les corps sont formés des mêmes éléments » (405).

D'après M. Picard, « les discussions soulevées à ce sujet touchent aux bases mêmes de la science, au principe de la conservation de l'énergie, au principe de Carnot, à l'immutabilité de l'atome, à la nature de la matière » (406).

M. Bruylants partage aussi cette opinion ; sa conclusion est même plus catégorique : « Les conceptions électroniques de la physique moderne, la nature matérielle de l'émanation, la formation d'hélium, de néon et d'argon aux dépens des substances radioactives, et tous les faits qui se rapportent à la dégradation et à la transmutation des éléments, ont mis de nouveau en vedette la vieille hypothèse ; et actuellement, on peut concevoir les éléments comme des formes plus ou moins différenciées d'une matière unique qui est peut-être l'éther lumineux » (407).

Dans un langage plus franchement mécaniste, M. Righi écrivait récemment : « Les électrons... sont, pour ainsi dire, les atomes de la substance primordiale inconnue, appelée électricité (ou mieux électricité négative), et en même temps, suivant l'opinion désormais unanime, les éléments constitutifs des atomes de la matière. C'est en eux, et dans leurs mouvements, que résident les causes premières de tous les phénomènes du monde physique » (408).

Nous retrouvons enfin la même pensée, bien qu'exprimée sous des formes diverses, chez de nombreux chimistes et physiciens ; à

---

(404) URBAIN et SÉNÉCHAL, *Introduction à la chimie des complexes*, p. 99. Paris, Alcan, 1913.

(405) LE BON, *L'évolution de la matière*, pp. 223, 254-255. Paris, Flammarion, 1910.

(406) PICARD, *La science moderne*, p. 169. Paris, Flammarion, 1910.

(407) BRUYLANTS, *La valence chimique (Revue des Questions scientifiques*, janvier-avril 1912), p. 144.

(408) A. RIGHI, *La nature des rayons X (Scientia*, vol. XV, n. 33-1, 1914), p. 31.

citer notamment Mme Curie (409), Hartog (410), Pallat (411), E. Bouty (412), Rey (413), de Thiéry (414).

162. Critique de cet argument. La validité de la théorie électronique. — Cette théorie a incontestablement rendu de très grands services à la science. L'existence des électrons, le rôle si important qu'on leur attribue dans les phénomènes relatifs à l'électricité, à la lumière, au magnétisme, à la chaleur paraît se confirmer chaque jour davantage. On ne peut nier toutefois que dans certaines applications elle soulève encore des difficultés sérieuses. Ainsi pour ne citer que quelques cas, le rayonnement du corps noir, la variation des chaleurs spécifiques avec la température furent une pierre d'achoppement pour la théorie électronique jusqu'au jour où Planck la compléta par son hypothèse des *quanta*. Or, il s'en faut que celle-ci soit à l'abri de toute critique et jouisse des sympathies de tous les physiciens.

Même dans l'interprétation des phénomènes chimiques, où elle remporte des succès avérés et, étonnants, que de problèmes, de l'aveu des chimistes, ne laisse-t-elle pas encore sans solution ! Enfin, veut-on donner à la théorie électronique toute l'extension dont elle est susceptible, et supprimer la matière au profit de l'électricité, on se trouve sur un terrain semé d'hypothèses, attrayantes sans doute, mais dont la hardiesse, nous le montrerons bientôt, impose une grande réserve et ne peut se dispenser d'une longue expérience qui lui fait encore défaut.

163. Cette théorie ne suppose nullement l'unité essentielle de la matière. — Admettons provisoirement le bien fondé de la théorie électronique. Quelles en seraient les conséquences au point de vue de la théorie mécanique ? Justifierait-elle le premier dogme du mécanisme traditionnel : l'unité essentielle de la matière ?

D'abord, il est certain qu'à l'heure présente, tous les physiciens admettent, comme éléments primordiaux de l'atome chimique, un noyau positif et des électrons négatifs, les uns libres, les autres

---

(409) Mme Curie, *Les radio-éléments et leur classification (La Revue du Mois,* 10 juillet 1914), p. 35. — *L'isotopie et les éléments isotopes,* p. 141. Paris, Blanchard, 1924.

(410) Hartog, *Les récentes théories biologiques sur la mémoire (Scientia,* vol. XV, n. 33-1, 1914), p. 53.

(411) Pallat, *Le nouvel état de la matière (Revue des Questions scientifiques,* avril 1905), pp. 518-519.

(412) Bouty, *La vérité scientifique,* pp. 236-246. Paris, Flammarrion, 1908.

(413) E. Rey, *La philosophie moderne,* pp. 158-161. Paris, Flammarion, 1911.

(414) *Introduction à l'étude de la chimie,* p. 15. Paris, Masson, 1906. « Cette hypothèse, dit-il, généralise le principe de gravitation universelle jusqu'à l'état ultime de la matière, et elle admet de plus l'unité de la matière ; ce que tous les savants devraient admettre aujourd'hui ».

enchaînés au noyau central. Nous sommes donc en présence, non pas d'une matière homogène unique, mais de deux constitutifs, de deux électricités qu'on décore, il est vrai, d'un même nom (électricité), mais qui se montrent irréductibles entre elles.

Or la réduction de l'univers à deux facteurs primordiaux hétérogènes n'est pas plus favorable au mécanisme que la réduction de tous les composés chimiques aux quatre-vingt-dix corps simples des chimistes. La question qui se pose est une question d'unité ou de pluralité, d'homogénéité ou d'hétérogénéité. La grandeur du nombre d'éléments originaux n'est ici d'aucune importance, pourvu que le nombre exprime une pluralité ; en un mot, il est tout aussi facile à un adversaire du mécanisme, de concevoir la formation du monde à partir d'un simple dualisme primitif, qu'à partir de cent ou deux cents corps élémentaires.

Que ce dualisme s'impose, il nous suffira pour nous en convaincre de citer l'opinion des partisans les plus décidés de la théorie électronique.

« Au lieu de considérer les fluides électriques (électricité positive et électricité négative) comme *contenus* dans la matière, dit Perrin, on admet qu'ils en sont inséparables, qu'ils sont la matière elle-même. Ainsi l'univers matériel serait construit avec seulement deux substances primordiales. Toute charge électrique apparente serait formée par un excès, relativement très faible, de l'une de ces deux substances » (415).

« Les atomes différeraient alors, écrit M. Pallat, non par leur matière constitutive, mais par la quantité positive de leur matière positive ou *électron positif* et par le nombre, la disposition des corpuscules ou *électrons négatifs*. Ainsi il se peut que la théorie corpusculaire conduise à l'unité de la matière, idée si chère aux esprits philosophiques ; unité pourtant pas tout à fait, puisqu'elle nécessiterait deux matières fondamentales distinctes : l'une électron positif, l'autre électron négatif inséparable d'une charge d'électricité négative » (416).

L'existence de deux électricités irréductibles l'une à l'autre est aussi admise par M^me^ Curie, Debierne, Soddy, Perrin, Berthoud, Mauguin.

---

(415) Perrin, *Traité de chimie physique. Les principes*, p. 23. Paris, Gauthier-Villars, 1903.

(416) Pallat, *Le nouvel état de la matière (Revue scientifique*, 29 avril 1905), p. 518. — Cfr. M^me^ Curie, *Sur les rayonnements des corps radioactifs (Les idées modernes sur la constitution de la matière.* Paris, Gauthier-Villars, 1913), pp. 273-277. — Debierne, *Sur les transformations radioactives (Les idées modernes)*, pp. 305-341. — Soddy, *Radioactivité (Les progrès de la chimie en 1912*, Paris, Hermann, 1913), p. 359. — *Chimie des radio-éléments*, 1914. — Perrin, *Les atomes*, Paris, Alcan, 1924. — Berthoud, *Les nouvelles conceptions de la matière et de l'atome*, Paris, Doin, 1923. — Mauguin. *La structure des cristaux*. Paris, Blanchard, 1924.

« C'est bien une différence spécifique (qu'il faut placer), dit M. Bouty, entre les deux sortes d'électricité » (417).

Pour certains auteurs, entre autres M. Rey, il paraît même certain que les électrons ne sont pas tous identiques entre eux.

Dans une étude très fouillée sur ce sujet, ce physicien-philosophe nous dit en effet « qu'il paraît très peu en accord avec tout ce que nous apprenons sur la structure intime de la matière, de supposer, aussi bien pour les atomes matériels que pour les atomes électriques, une identité absolue de leurs individualités. Tout porte à croire, dit-il, que ces individualités sont semblables mais non indiscernables, exactement comme les individualités les plus complexes inorganiques et organiques. Il semble donc infiniment probable que tout élément auquel nous remontions, varie toujours entre certaines limites étroites » (418).

Cette opinion n'a cependant pas prévalu et à l'heure présente les physiciens et les thomistes sont unanimes à admettre l'identité complète de tous les électrons, quelle qu'en soit la provenance.

164. La théorie électronique ne supprime pas la matière ordinaire. — Bien plus, la théorie électronique n'est nullement incompatible avec l'existence de la matière entendue au sens ordinaire du mot.

Les électrons ou particules d'électricité négative n'ont guère de masse pondérale ; leur masse, d'après la théorie, est tout entière d'origine électromagnétique, elle exprime la quantité d'énergie qu'il faut consommer pour créer le champ électromagnétique qui forme le sillage de la particule en mouvement.

Mais on constate aussi que l'émission de ces électrons négatifs par les corps radioactifs ne diminue jamais sensiblement le poids réel de l'atome soumis à cette désintégration. Il n'y a réellement de perte de poids que dans l'émission par les masses atomiques de particules positives qui sont en réalité des atomes d'hélium, ou, dans certains cas des protons. Et dans ce cas, le poids de l'atome résiduel et celui de la particule émise constituent un total qui représente exactement le poids que possédait l'atome chimique avant sa dislocation. L'émanation, par exemple, dont le poids atomique est 222 devient, en perdant une particule α ou un atome d'hélium, du radium A dont le poids atomique est 218. Or le poids atomique de l'hélium, 4, mesure exactement la perte subie par l'émanation.

---

(417) Bouty, *La vérité scientifique*, pp. 241 et suiv. Paris, Flammarion, 1908.

(418) Rey, *Vers l'intuition expérimentale de l'électron (Revue philosophique*, mai 1914). Voir aussi les n^os^ de novembre et décembre 1913 et avril 1914.

De quel droit affirmer que ces noyaux positifs ne sont que de l'électricité pure et simple ?

« On peut, écrit M. Bouty, considérer ces centres (positifs) comme ayant une constitution beaucoup plus complexe et il n'est pas évident que, si cette constitution était connue, leur masse réelle ne s'annulerait pas aussi complètement que celle des centres négatifs. *La matière s'évanouirait* au profit des champs magnétiques. » Mais il ajoute : « ce n'est là, actuellement, qu'une hypothèse presque gratuite, qu'on est parfaitement libre de ne pas accepter, jusqu'à plus ample informé » (419).

Tel est aussi l'avis de L. Poincaré : « On pourrait évidemment supposer, dit-il, que ce centre positif conserve, lui, les caractères fondamentaux de la matière et que, seuls, les électrons n'ont plus qu'une masse électro-magnétique » (420).

En fait, il est généralement admis aujourd'hui que l'atome d'hydrogène comprend deux parties bien distinctes, un noyau positif ou proton et un électron. On attribue au premier une charge d'électricité positive équivalente à la charge négative du second. Mais il reste vrai que la masse du proton est 1833 fois plus grande que celle de l'électron. Ne semble-t-il pas naturel d'en conclure que ce quantum d'électricité dont le noyau est chargé ne représente pas toute la réalité de l'élément nucléaire et qu'en outre de ce quantum il pourrait bien y avoir dans l'atome quelque chose qui répondît adéquatement au vieux concept de matière ? Si donc « comme le pensent beaucoup de physiciens, le proton et l'électron sont les deux constituants universels de la matière, au proton reviendra la mission de communiquer aux atomes de tous les éléments les propriétés spécifiquement matérielles dont il est le siège et l'origine (421).

Mais l'électron lui-même qu'on se plaît à assimiler à un grain d'électricité pure, est-il bien si étranger, si irréductible à la matière ?

---

(419) E. Bouty, *La vérité scientifique*, p. 246. Paris, Flammarion, 1908.

(420) L. Poincaré, *La physique moderne et son état actuel*, p. 300. Paris, Flammarion, 1909. — Cfr. Le Bon, *L'évolution de la matière*, p. 121. Paris, Flammarion, 1910. « Les mesures de l'inertie des électrons, dit-il, n'ont porté que sur les électrons négatifs, les seuls qu'on puisse isoler entièrement de la matière. Elles n'ont pas été effectuées sur les ions positifs. Demeurant inséparables de la matière, ces derniers en possèdent la propriété essentielle, c'est-à-dire une masse constante indépendante de la vitesse. » Cfr. Brunhes, *La dégradation de l'énergie*, p. 303. Paris, Flammarion, 1908. — Lodge, *La vie et la matière*, p. 29. Paris, Alcan, 1909. — Boucher, *Essai sur l'hyperespace*, p. 113. Paris, Alcan, 1905.

(421) Pour ne pas renoncer à la conception purement électrique de la matière, et rendre compte de ce fait que la masse du noyau est 1833 fois plus grande que celle de l'électron, on a supposé que le rayon du noyau était aussi 1833 fois plus petit que celui de l'électron négatif. Il serait donc voisin de 10^{-16} cm., c'est-à-dire d'un milliardième de millionième d'un centimètre.

Avec une patience digne d'admiration on cherche à en déterminer exactement la masse. D'accord avec la théorie de la relativité on lui attribue un poids. Enfin on espère arriver à en mesurer le volume avec une précision mathématique. De plus, c'est lui qui est responsable des phénomènes électriques, magnétiques, luminiques et calorifiques. Ne retrouve--ton pas dans toutes ces attributions le signalement complet de la matière entendue au sens ordinaire du mot ? N'a-t-on pas simplement substitué un terme à l'autre, sans faire disparaître cependant l'obscurité qui enveloppe ces concepts primitifs ? Du point de vue métaphysique, le premier problème à résoudre dans cette voie devait avoir pour objet la *nature* de l'électricité. Or y a-t-il dans tout le domaine de la chimie et de la physique un agent plus mystérieux, plus déconcertant ?

Les dimensions de l'électron étaient déjà prodigieusement petites ; celles-ci, à plus forte raison, dépassant tout effort de l'imagination et révèlent une discontinuité de la matière presque effrayante. Sans doute, l'atome de Butherford s'accommode aisément de ces hypothèses ; l'avenir nous dira dans quelle mesure elles répondent à la réalité.

D'ailleurs, les physiciens ne professent-ils pas, à l'unanimité, qu'on ne connaît presque rien de la nature et de la constitution de ce noyau central des atomes chimiques ? (422).

A notre avis, c'est donc en vain que le mécanisme se réclame de la théorie électronique pour justifier son dogme de l'unité essentielle de la matière. Cette théorie physique est un essai de synthèse, généralement fructueux sans doute, mais qui soulève actuellement encore, dans ses applications, de sérieuses difficultés. De plus, elle aboutit à un dualisme réel et inévitable, à une pluralité de substances primordiales où la matière pondérale, au sens ordinaire du mot, semble pouvoir conserver sa place.

165. La théorie électronique ne nécessite pas la réduction de toutes les forces au mouvement local. — Reste le second dogme du mécanisme : la réduction de toutes les forces, et dans l'espèce, de l'électricité, au mouvement local. « La notion du mouvement, dit E. Rey, resterait toujours le centre du nouvel édifice... La physique électronique est une théorie figurative et cinétique » (423).

Pour rendre compte des faits de radioactivité, la théorie suppose douées de mouvement local les particules constitutives de l'atome chimique. D'après elle, les électrons gravitent autour du noyau positif comme les satellites autour du soleil, avec une vitesse

(422) Cfr. Aston, *Les isotopes*, p. 109. Paris, Hermann, 1923.
(423) Rey, *La théorie de la physique chez les physiciens contemporains*, p. 296. Paris, Alcan, 1907.

de plusieurs trillions de tours par seconde. Et du point de vue purement mécanique, cette supposition s'imposé puisque la formidable somme d'énergie contenue dans l'atome ne réside que dans le mouvement de ses particules constitutives. Or ceci est une hypothèse qui ne peut se réclamer d'aucune preuve expérimentale ou inductive certaine ; notre ignorance au sujet de la constitution intime de cet édifice atomique est encore considérable ou plutôt la conception que nous avons à l'heure actuelle repose presque complètement sur des hypothèses.

Dans le fait de l'explosion de l'atome, les électrons se trouvent lancés dans l'espace et sont, d'évidence, animés de mouvement local. Mais qui donc a prouvé que toutes les énergies mises en jeu résident dans ce mouvement, que l'électricité s'identifie avec ce déplacement local des électrons, que le mouvement enfin ne relève d'aucune autre cause que de lui-même ? Ce sont là trois problèmes que la théorie n'a pas résolus et ne saurait même pas résoudre avec les données d'expérience actuelles.

Telle est d'ailleurs la pensée qu'exprime M. Meyerson quand il nous dit : « Nous sommes entièrement ignorants de la nature du phénomène fondamental que nous supposons, à l'heure actuelle, électrique et que nous assimilons à une ondulation » (424).

A ce sujet, l'opinion de M. Nernst peut aussi être citée : « Sous l'influence des travaux récents s'est répandue l'idée que la théorie fluidique de l'électricité, qui voit en elle un agent matériel, était définitivement éliminée ; on entend même souvent cette assertion, nullement motivée, que l'électricité n'est qu'un « état vibratoire »... L'optique est devenue en fait un chapitre spécial de l'électricité, de même que le magnétisme en est un depuis longtemps. Malgré cela, la question de la nature de l'électricité est restée dans son ensemble ce qu'elle était auparavant » (425).

Bien plus, s'il faut en croire plusieurs physiciens, notamment Langevin (426) et H. Poincaré (427)..., il serait impossible, à l'heure présente, de se passer, dans l'explication de certains phénomènes relatifs à la radioactivité, de forces distinctes des énergies électriques et magnétiques (428).

---

(424) Meyerson, *Identité et réalité*, p. 213. Paris, Alcan, 1912.

(425) Nernst, *Traité de chimie générale*, Ire partie, pp. 449-450. Paris, Hermann, 1911.

(426) Langevin, *La dynamique électromagnétique (Les idées modernes sur la constitution de la matière.* Paris, Alcan, 1913), p. 114.

(427) H. Poincaré, *Science et méthode*, p. 247. Paris, Flammarion, 1909.

(428) Henriquez, *Les concepts fondamentaux de la science*, pp. 246 et suiv. Paris, Flammarion, 1913.

§ 3

Le mouvement Brownien

166. Exposé et cause présumée du fait. — Ce phénomène fut signalé déjà en 1827 par le botaniste Brown. Voici en quoi il consiste :

A l'échelle ordinaire de nos sensations, toutes les parties d'un liquide en équilibre nous semblent immobiles. Si l'on place dans ce liquide un objet quelconque plus dense que lui, cet objet tombe verticalement et ne remonte jamais spontanément.

Au contraire, si l'on examine au microscope de petites particules placées dans l'eau, on voit que chacune d'elles, au lieu de tomber régulièrement, s'agite de façon désordonnée. Elle va et vient en tournoyant, monte, descend, remonte encore, sans tendre aucunement vers le repos. « Enfin, et ceci est peut-être le caractère le plus étrange et le plus véritablement nouveau, le mouvement ne s'arrête jamais. A l'intérieur d'une cellule close, on peut l'observer pendant des jours, des mois, des années... (429) » Tels sont les caractères du mouvement brownien.

Quelle est la cause de ce mouvement continu et irrégulier ?

L'expérience prouve qu'il est complètement indépendant du mouvement des particules voisines ; il persiste indéfiniment malgré toutes les précautions que l'on prend pour assurer l'équilibre mécanique et thermique du liquide où le phénomène se produit. Ce phénomène n'a donc point pour cause les courants de convection que peuvent produire les trépidations, l'évaporation, les différences de température, les courants d'ensemble qu'on reconnaît facilement quand ils se superposent au phénomène.

Il faut en conclure, avec Wiener, que l'agitation perpétuelle de ces particules est déterminée par les mouvements internes, caractéristiques de l'état fluide. En d'autres termes, le mouvement brownien semble confirmer l'hypothèse d'après laquelle les molécules d'un liquide sont soumises à un régime permanent de violente agitation. Tout granule situé dans un fluide, étant sans cesse heurté par les molécules voisines, en reçoit des impulsions qui, en général, ne s'équilibrent pas, et se trouve de la sorte irrégulièrement ballotté.

Le repos apparent des liquides en équilibre n'est donc qu'une illusion due à l'imperfection des sens. En un mot, le mouvement

---

(429) GOUY, *Le mouvement brownien et les mouvements moléculaires (Revue générale des sciences,* 1 janvier 1895), pp. 5 et suiv. — ARRHÉNIUS, *Conférences sur quelques thèmes choisis de chimie physique,* pp. 12-18. Paris, Hermann, 1912.

brownien visible au microscope est l'image fidèle et le résultat du mouvement moléculaire invisible. « Il nous fournit, comme le disait M. Gouy, ce qui manquait à la théorie cinétique de la matière : une preuve expérimentale directe » (430).

167. Critique de cet argument. — Le mouvement brownien est certainement l'un des faits les plus importants dont puisse se réclamer la théorie cinétique. Nous reconnaissons même volontiers que, jusqu'ici, aucune autre théorie n'en a donné une explication pleinement suffisante. Mais la conception mécanique lève-t-elle toute difficulté, satisfait-elle à tous les principes de physique bien établis ?

L'une des plus belles découvertes du siècle dernier est sans contredit le principe de Carnot et la loi de la dégradation de l'énergie qui en est la conséquence nécessaire. D'après ce principe généralisé, tout phénomène naturel exige, pour se produire, une différence de niveau des énergies en présence. La nature tend constamment à rétablir l'équilibre là où il fait défaut, et l'intensité du phénomène se mesure à cette inégalité énergétique, en sorte que le monde marche fatalement vers un état de nivellement universel et de repos.

Or comment concilier avec ce principe confirmé par d'innombrables expériences, la conception mécanique de l'état liquide ? Si les particules d'un fluide sont animées de mouvements constants dont la moyenne reste toujours invariable dans les mêmes conditions physiques de pression et de température, si ce mouvement est apte de lui-même à se perpétuer éternellement, ce mouvement ne porte-t-il pas à juste titre le nom de *mouvement perpétuel* dont la science proclame l'impossibilité physique ? Ou, du moins, que devient l'évidente tendance de l'univers à la stabilité, à l'universel nivellement énergétique ?

Certes, il y a là une très grande difficulté.

168. Instance. — Pour y échapper, plusieurs physiciens ont proposé d'atténuer la rigueur du principe de Carnot, d'en faire une loi approchée ou plutôt une loi de haute probabilité, valable seulement pour des systèmes complexes de mouvements.

Ils distinguent aussi deux sortes de mouvement perpétuel. On peut entendre, dit-on, par mouvement perpétuel, un mouvement qui se produirait sans dépense d'énergie. Il est clair que pareil mouvement, une fois inauguré, se continuerait indéfiniment et pourrait donner naissance à des effets mécaniques qui viendraient augmenter la somme des énergies de l'univers, sans entraîner aucune diminution correspondante.

(430) PERRIN, *Les atomes*, pp. 119-189. Paris, Alcan, 1924. — *Les preuves de la réalité moléculaire (Les idées modernes.* Paris, Gauthier-Villars, 1913), pp. 6-26.

Pareil mouvement est manifestement condamné par le principe de la conservation de l'énergie ; toute production nouvelle d'énergie devant être compensée par une perte équivalente.

Mais on peut concevoir un mouvement perpétuel qui se concilie aisément avec le principe énoncé. Il suffit, en effet, d'admettre que tout accroissement de vitesse d'un grain ou d'une particule suspendue dans le liquide, s'accompagne d'un refroidissement du fluide en son voisinage immédiat, et que toute diminution de vitesse s'accompagne d'un échauffement local (431).

Or, ce mouvement est compatible avec le principe de Carnot, à condition de bien l'entendre.

Il est nécessaire de distinguer deux acceptions de ce principe.

Les uns — telle fut d'ailleurs l'opinion de la généralité des physiciens jusqu'en ces dernières années — les uns le regardent comme une vérité absolue, applicable non seulement à l'univers, ou à un ensemble de particules matérielles, mais à chacune des particules prises isolément. Dans ce cas, toutes les molécules et tous les atomes d'un milieu liquide ou gazeux finiraient par céder à la loi du nivellement, tous prendraient un mouvement uniforme qui rendrait inexplicable le mouvement brownien.

D'autres entendent le principe en un sens plus large. Ils n'y voient qu'une loi statistique, une loi de haute probabilité. Pour eux, le principe de Carnot n'est vrai que pour l'univers ou pour un système de particules plus ou moins nombreux ; il ne l'est plus pour un très petit nombre de particules considérées isolément.

« Depuis que Maxwell, Boltzmann et Gibs, dit M. Bauer, ont étudié d'une façon tout à fait générale les lois de la Mécanique statistique, le principe de Carnot se présente sous une forme nouvelle, plus compréhensible et moins absolue ; c'est une loi de probabilité, valable avec d'autant plus de rigueur que les systèmes étudiés sont plus complexes » (432).

Si l'on mélange deux gaz de température différente, il se produit, après peu de temps, un état thermique uniforme, le même pour toute quantité appréciable du mélange. Cette uniformité, invariable sans l'intervention d'une énergie étrangère, ne représente cependant qu'une *moyenne*. En fait, il existe à l'intérieur de la masse gazeuse des différences multiples de température ; telle molécule, par exemple, a un mouvement plus rapide que telle autre,

---

(431) PERRIN, *Les atomes*, p. 124. Paris, Alcan, 1924. — *Les preuves de la réalité moléculaire :* Le mouvement brownien ; les lois du mouvement brownien ; phénomènes browniens (*Les idées modernes sur la constitution de la matière*. Paris, Gauthier-Villars, 1913), pp. 7-47.

(432) Cfr. E. BAUER, *Les quantités élémentaires d'énergie (Les idées modernes sur la constitution de la matière*. Paris, Gauthier-Villars, 1913), p. 115.

mais comme le nombre de particules supposé est considérable, l'excédent de vitesse des unes est composé par la lenteur des autres, en sorte que le résultat d'ensemble reste sensiblement invariable.

Ainsi en est-il dans un milieu liquide (433).

La nature tend donc vers l'uniformité et la stabilité, si on entend cette uniformité comme la moyenne d'un ensemble d'actions ; elle comporte, au contraire, une diversité permanente d'actions isolées faisant partie de cet ensemble.

Les mouvements intestins d'un corps gazeux ou liquide en équilibre thermique peuvent donc se produire aux dépens des mouvements calorifiques, comme ceux-ci peuvent être engendrés par les chocs moléculaires. Chacune de ces transformations se fait suivant les exigences du principe de la conservation de l'énergie. D'autre part, on comprend aussi qu'il soit pratiquement impossible, comme le veut le principe mitigé de Carnot, de transformer à son gré en travail *toute* la chaleur d'un liquide en équilibre thermique : il faudrait, pour atteindre ce but, pouvoir coordonner, c'est-à-dire rendre parallèles, les vitesses de *toutes* ces molécules.

On ne voit donc aucune répugnance à ce que ces mouvements internes se perpétuent indéfiniment grâce à cette transformation constante, réalisée par les particules isolées, de chaleur en travail mécanique et de travail mécanique en chaleur.

D'après certains physiciens, il ne serait même pas impossible que toute la chaleur d'un liquide en état d'équilibre thermique se transformât finalement en travail, mais pareille transformation exigerait des temps d'une durée incalculable. Pour eux, le principe, même dans ses applications à des ensembles de particules, ne jouirait que d'une très haute probabilité (434).

Considéré comme loi statistique, le principe de Carnot se concilierait donc avec le mouvement perpétuel des particules d'un liquide et par suite avec le mouvement brownien.

169. Critique. — Que faut-il penser de cette nouvelle interprétation ?

Le principe de Carnot est un fait, et même le fait de beaucoup

---

(433) « Dans le cas d'une grande surface, les chocs moléculaires, cause de la pression, ne produiront aucun ébranlement du corps suspendu, parce que leur ensemble sollicite également ce corps dans toutes les directions. Mais si la surface est inférieure à l'étendue capable d'assurer la compensation des irrégularités, il faut reconnaître des pressions inégales et continuellement variables de place en place, que la loi des grands nombres ne ramène plus à l'uniformité, et dont la résultante ne sera plus nulle, mais changera continuellement d'intensité et de direction. » Cfr. PERRIN, *Les atomes*, p. 127.

(434) Voir l'hypothèse « des démons » de Maxwell chez BRUNHES, *La dégradation de l'énergie*, pp. 331 et suiv. Paris, Flammarion, 1908. — Cfr. BOLTZMANN, *Leçons sur la théorie des gaz* (traduction française Gallotti et Bénard). Paris, Gauthier-Villars, 1905.

le plus important de la science. Sa raison d'être est de préciser l'irréversibilité, de la rendre tangible. La réversibilité n'existe nulle part dans la nature ; le phénomène réversible est purement idéal ; on peut tout au plus le concevoir comme un cas-limite des phénomènes réels, tous irréversibles au fond. Toute dérogation à pareil principe doit donc être appuyée sur des faits. Or, le langage de l'expérience est-il réellement décisif en cette matière ?

Il est certain d'abord que parmi les adversaires du principe de Carnot, plusieurs se sont laissé guider par des considérations absolument étrangères aux exigences de la science. Pour Hæckel, par exemple, la loi de la dégradation de l'énergie s'applique à des processus particuliers, mais ne peut s'étendre au grand Tout du cosmos, sinon, à la fin du monde devrait correspondre un commencement, conséquence incompatible avec le monisme (435).

Telle est à peu près l'opinion d'Arrhénius. Si les vues de Clausius étaient exactes, dit-il, cette mort calorifique devrait déjà s'être établie depuis les temps infinis que le monde existe. D'autre part, on ne peut supposer qu'il y ait eu un commencement, puisque l'énergie ne peut être créée (436).

Il est évident que ces considérations aprioriques n'ont aucune valeur scientifique.

Certains physiciens, il est vrai, notamment Maxwell, Gibs et Boltzmann (437) ont imaginé diverses hypothèses pour échapper aux graves conséquences du principe de Carnot, et concilier à la fois le mécanisme et l'expérience. Mais d'autres physiciens de valeur, Poincaré (438), Duhem (439), Lippmann (440) et Mach (441) aiment à reconnaître que la tentative de Maxwell, de loin la plus sérieuse, paraît encore bien insuffisante.

« Même avec le principe de Carnot entendu dans son sens large, écrit M. Brunhes, le mécanisme peut-il s'accorder ? ou bien le désaccord est-il définitif ? Sur ce problème, il semble encore prématuré de prononcer un verdict sans appel » (442).

Sans doute, s'il était prouvé que le mouvement brownien ré-

---

(435) HÆCKEL, *Les énigmes de l'univers*, pp. 283-284. Paris, 1902.

(436) ARRHÉNIUS, *L'évolution des mondes*, trad. Seyrig, p. IV. Paris, Béranger, 1910.

(437) BOLTZMANN, *Leçons sur la théorie des gaz*, II[e] partie, pp. 252 et suiv. Paris, 1905.

(438) H. POINCARÉ, *Le mécanisme et l'expérience (Revue de Métaphysique et de Morale*, I, 1893), pp. 535-537)

(439) DUHEM, *L'évolution de la mécanique*, p. 153. Paris, Joannin, 1903.

(440) LIPPMANN, *La théorie cinétique des gaz et le principe de Carnot (Congrès international de physique*, 1 vol., p. 549).

(441) MACH, *Die Prinzipien der Wärmelehre*, p. 364. Leipzig, 1896.

(442) BRUNHES, *La dégradation de l'énergie*, p. 332. Paris, Flammarion, 1908.

sulte des mouvements moléculaires du liquide, la théorie de Maxwell, qui suppose que le principe de Carnot règle les phénomènes des corps sensibles, mais ne s'applique pas à leurs particules élémentaires, cette théorie, disons-nous, recevrait une puissante confirmation (443). Mais, même dans cette hypothèse, on ne serait pas encore autorisé à conclure que ce mouvement perpétuel ne résulte pas, à son tour, d'énergies mécaniques plus profondes.

De plus, est-on certain d'avoir découvert la vraie cause du phénomène ?

Aucun autre ne se laisse soupçonner actuellement, dira-t-on ! Soit. Mais les énergies de la matière sont encore si peu connues, et qui peut pressentir les découvertes que nous réserve l'avenir ? « On peut donc se demander légitimement, dit M. Meyerson, si dans bon nombre de transformations il ne naît pas des formes d'énergies restées insoupçonnées jusqu'à ce jour » (444).

Quoi qu'il en soit de ces hypothèses subsidiaires, la théorie cinétique, nous l'avons dit plus haut, se voit forcée d'accorder aux dernières particules de la matière une élasticité parfaite. Or, pareille élasticité ne se rencontre nulle part dans la nature et suppose une force distincte du mouvement, appelée force d'élasticité (445).

Enfin, si nous quittons le terrain de la physique pour soumettre la théorie cinétique à l'épreuve des principes de la métaphysique, il est facile de montrer que, jamais, le mouvement ne peut engendrer le mouvement, ou produire de lui-même un effet mécanique. Toute action, fût-elle même une simple pression, est due à une force, à une qualité stable, distincte du mouvement local, irréductible à cette espèce de mouvement (446).

§ 4

Toutes les activités de la nature sont soumises aux mêmes lois physiques

170. Exposé. — La chaleur, le son, la lumière, et en général les forces physiques sont soumises aux mêmes lois de la ré-

(443) Cfr. PERRIN, *Les atomes,* pp. 119-189. Paris, Alcan, 1924. Les expériences nombreuses et variées entreprises par ce savant ont démontré, à suffisance, semble-t-il, que le repos apparent d'un fluide n'est qu'une illusion, due à l'imperfection de nos sens, et correspond, en réalité, à un certain régime permanent de violente agitation désordonnée.

(444) MEYERSON, *Identité et réalité,* p. 213. Paris, Alcan, 1912.

(445) Comme le dit M. Borel, « il ne peut être question, dans de tels chocs, de perte vive transformée en chaleur, puisque la chaleur n'est pas autre chose, en théorie cinétique, que la force vive des molécules, » E. BOREL, *Le hasard,* p. 168. Paris, Alcan, 1914.

(446) Cfr., n°s 124-129.

flexion, de la réfraction, de l'interférence, etc. Or, pareil phénomène ne s'explique pas si les énergies physiques se distinguent entre elles par des caractères réellement spécifiques.

Cet argument est invoqué surtout par les partisans de l'atomisme dynamique, en faveur de l'identité mécanique de toutes les forces naturelles.

Pictet va même plus loin et croit pouvoir déduire de ce fait l'identité absolue de la matière.

« La conclusion logique à laquelle conduit l'égalité de chute de tous les corps est d'autant plus intéressante à noter, dit-il, que c'est à peu près la seule raison absolument convaincante que l'on possède, pour admettre l'*unité absolue de la matière*, quels que soient le *nom* et la *forme chimique* sous lesquels nous les étudions » (447).

171. Critique. — Il est incontestable que plusieurs lois d'ordre physique s'étendent à des énergies regardées par nous comme hétérogènes. Mais cette constatation ne prouve en rien l'identité des forces corporelles.

Que faut-il, en réalité, pour rendre compte de ce phénomène ?

Il suffit d'attribuer aux forces un double caractère, que nous révèle, d'ailleurs, l'expérience. D'abord un caractère qualitatif, par lequel elles se distinguent entre elles et exercent sur nos sens des effets réellement spécifiques. La lumière, le son, la chaleur, etc. ne nous apparaissent-ils pas comme des forces irréductibles les unes aux autres, comme des réalités dont nous ne pouvons prendre connaissance que par des organes appropriés ?

Il faut ensuite leur attribuer un caractère mécanique qui leur permet de produire, comme effet secondaire, du mouvement local. On le sait, toutes les activités corporelles, parce qu'essentiellement dépendantes de la matière, s'accompagnent toujours de déplacements dans l'espace.

Or, grâce à cet aspect secondaire de nos énergies physiques, le fait invoqué s'explique sans peine.

En effet, toutes les lois découvertes par la physique expérimentale sont relatives à l'aspect mécanique des phénomènes. « En physique expérimentale, dit avec raison Pictet, à part ce qui se passe au dedans de nous-mêmes, nous n'observons et ne mesurons que des *corps en mouvement*... Sortir de ce cadre précis serait une *grossière erreur de méthode* » (448).

Si donc l'activité spécifique de nos forces physiques s'accom-

---

(447) PICTET, *Etude critique du matérialisme et du spiritualisme*, p. 65. Paris, Alcan, 1895.

(448) PICTET, *Etude critique du matérialisme et du spiritualisme*, p. 68, Paris, Alcan, 1896.

pagne toujours de mouvement local, il est naturel que, de ce chef, et en vertu de cette propriété commune, toutes ces forces soient soumises à certaines lois générales de physique.

D'autre part, il tombe aussi sous le sens, qu'à raison même de sa méthode, il est interdit au physicien de s'appuyer sur le caractère commun de ces lois, pour nier ou affirmer l'existence des traits spécifiques cachés sous le mouvement dont il nous trace les règles. D'évidence, ces traits distinctifs doivent échapper à ses calculs.

Au surplus, le vice radical de cette induction devient plus tangible encore quand on la poursuit dans ses applications logiques.

Que dirait-on, par exemple, de ces inférences ? Les activités chimiques, physiques et les sensations sont soumises à la loi du temps et de la succession ; elles sont donc de même nature. — Les corps bruts, tels la pierre et les métaux, la plante, l'animal et l'homme sont régis par la loi de la pesanteur ; ils tombent tous avec la même vitesse dans le vide. Ces êtres appartiennent donc à une même espèce !

§ 5

La méthode physique et l'universalité du mouvement

172. Exposé de cet argument. — Le but de la physique et, en général, des sciences naturelles, est de nous donner la mesure directe ou indirecte des grandeurs qu'elles étudient. Les termes de calorimétrie, de barométrie, de thermométrie, de photométrie, etc., le prouvent à suffisance.

Or, on ne peut mesurer que la quantité, qui est partout homogène.

L'homogénéité de l'objet est donc la condition *sine qua non* de la possibilité de la science, et le domaine physico-chimique se réduit ainsi au domaine de la quantité à l'exclusion des différences qualitatives.

En fait, « tout se passe comme si les phénomènes étaient et n'étaient au fond que des grandeurs homogènes, réductibles et mesurables » (449).

Inversement, « si les phénomènes sont réductibles les uns aux autres, écrit M. Rey, ils sont homogènes ; s'ils sont homogènes, ils sont mesurables ; mais s'ils sont mesurables, ils sont des gran-

---

(449) REY, *La théorie de la physique chez les physiciens contemporains*, p. 265. Paris, Alcan, 1907.

deurs quantitatives... Tout se passe comme si l'univers physico-chimique était quantitatif » (450).

« Une mesure, dit encore cet auteur, est une variation d'étendue, un déplacement dans l'espace, une sensation de mouvement. » « Toute expérience nous fait donc retomber, du moins jusqu'à présent, et tout nous porte à croire qu'il en sera toujours ainsi, sur des phénomènes mécaniques. »

« Si l'on ajoute à cette raison, que les phénomènes les plus simples et les premiers étudiés dans la nature, ont été le mouvement et tout ce qui s'y rapporte, que par suite, on a progressivement connu les phénomènes inconnus, en les réduisant à ceux qui étaient primitivement connus, on en conclut que la systématisation à laquelle devait aboutir une théorie qui veut être le décalque de l'expérience, est une systématisation mécanique » (451).

173. Critique de cet argument. — A en croire le philosophe français, toute méthode physique suppose l'homogénéité des phénomènes et doit aboutir à une systématisation mécanique.

Que diraient les énergétistes de pareille assertion ? Pour ces physiciens, notamment pour MM. Ostwald et Duhem (452), la classification des phénomènes ne doit jamais en supprimer ni en amoindrir les caractères distinctifs. D'après M. Ostwald, la science a même pour tâche de mettre en lumière toutes les caractéristiques des énergies physiques (453).

D'ailleurs, la théorie électronique elle-même, qui domine actuellement toute la physique, n'admet-elle pas deux éléments primordiaux, deux sortes d'électricité, l'une positive, l'autre négative, que d'excellents physiciens déclarent spécifiquement distinctes l'une de l'autre ? (454).

En réalité, M. Rey a posé en principe ce qu'il voulait établir, savoir, que l'univers n'admet d'autre explication scientifique qu'une explication mécanique. C'est là une erreur contre laquelle s'élève vivement M. Mach : « L'opinion, dit-il, qui fait de la mécanique la base fondamentale de toutes les autres branches de la physique, et suivant laquelle tous les phénomènes physiques doivent recevoir

---

(450) Id., *op. cit.*, p. 265.

(451) Rey, *op cit.*, p. 286.

(452) Duhem, *L'évolution de la mécanique*, pp. 334 et 335, Paris, Joannin, 1903.

(453) Ostwald, *L'énergie*, p. 126. Paris, Alcan, 1910.

(454) « On a dit quelquefois, écrit M. Dunan, que le mécanisme universel est la condition de l'unité de la nature. C'est une erreur ; car l'unité que le mécanisme donne à la nature c'est celle de la loi mathématique par laquelle lui-même est régi, et qui, par conséquent, se trouve dans tous les phénomènes. Mais l'unité de la loi qui régit les phénomènes ne fait pas l'unité de la nature elle-même. » Dunan. *La nature de l'espace (Revue de Métaphysique et de Morale*, novembre 1912, p. 777.).

une explication *mécanique,* est selon nous un préjugé... La conception mécanique de la nature nous apparaît comme une hypothèse fort explicable historiquement, excusable peut-être et peut-être fort utile pour un temps, mais, somme toute, artificielle » (455).

En second lieu, d'après M. Rey ,tout phénomène, dès qu'on le serre de près, nous apparaît comme mécanique.

Assertion tout aussi gratuite que la première, ou plutôt assertion fausse.

« Il n'existe pas, en effet, dit M. Mach, de phénomène purement mécanique. Quand deux masses se communiquent des accélérations réciproques, il semble qu'il y ait tout au moins là un pur phénomène de mouvement. Mais à ce mouvement sont, dans la réalité, toujours liées des variations thermiques, magnétiques et électriques, qui, dans la mesure où elles se produisent, modifient le phénomène. Inversement des circonstances thermiques, magnétiques, électriques et chimiques peuvent déterminer un mouvement. Les phénomènes purement mécaniques sont donc des abstractions intentionnelles ou forcées dont le but est une plus grande facilité de l'examen. Il en est ainsi de toutes les autres catégories de phénomènes physiques » (456).

Nous pourrions donc répondre comme suit à l'argument précité :

Toutes les forces de la nature produisent du mouvement local, *concedo* ; ne produisent que du mouvement local, *nego.*

Tout se passe comme si l'univers était quantitatif, *distinguo :* en ce sens qu'il se prête directement ou indirectement à la mesure, *concedo* ; en ce sens que tout y est homogène et directement mesurable, *nego.*

Donc la réduction de tous les phénomènes au mouvement est légitime, *distinguo :* s'il s'agit d'une simple méthode physique, ou d'un procédé de classification qui n'est pas exclusif des différences spécifiques inhérentes à la réalité, *concedo.* Si l'on donne à cette réduction une valeur objective et exclusive, *nego.*

On ajoute, il est vrai, que le mouvement est le premier phénomène étudié dans la nature.

Nous aimons à le croire ; mais avec M. Mach, nous pensons aussi que « la connaissance la plus ancienne au point de vue historique ne doit pas nécessairement *rester* la base de la compréhension des faits nouveaux » (457).

Que de fois des phénomènes, qu'on avait crus très simples, ont

---

(455) MACH, *La mécanique,* pp. 465-466. Paris, Hermann, 1904.
(456) ID., *op. cit.,* p. 465.
(457) MACH, *op. cit.,* p. 465.

révélé une étonnante complexité aux regards plus attentifs des physiciens !

Et puis, si la conception mécanique de la nature semble avoir marqué l'aurore du mouvement scientifique, n'est-ce pas, comme le dit M. Duhem (458), parce que ce mode de représentation s'accommode d'un pouvoir d'abstraction moins développé, et requiert partant moins d'efforts intellectuels ?

(458) DUHEM. *La théorie physique, son objet, sa structure,* p. 115. Paris, Chevalier, 1906.

ARTICLE II

Arguments tirés de la chimie

§ 1

Les poids atomiques. Hypothèse de Prout

174. Hypothèse de Prout. — Les arguments que nous venons d'examiner, tendaient surtout à prouver la réductibilité de tous les phénomènes physiques au mouvement local. Celui-ci vise directement l'homogénéité essentielle de la matière.

En 1815, peu de temps après la découverte de la théorie atomique par Dalton, un chimiste anglais, du nom de Prout, émit une hypothèse où se trouvait renouvelée, sous une forme plus scientifique, la pensée dominante des anciens philosophes grecs.

Les poids atomiques jusqu'ici connus, écrivait ce chimiste, sont tous des multiples exacts de celui de l'hydrogène. N'est-il pas raisonnable de penser que tous nos corps simples sont des produits d'une condensation progressive de cet élément primitif ?

« La relation très particulière de l'hélium avec les radio-éléments nous conduit à admettre, dit M^me^ Curie, que l'atome d'hélium est un sous-atome dont sont formés les éléments. Nous sommes ainsi ramenés, sous une forme nouvelle, à l'ancienne hypothèse de Prout. Le rôle de l'hydrogène reste encore inconnu ; il paraît à peu près certain que si l'affirmation précédente est exacte pour l'hélium, elle doit l'être aussi pour l'hydrogène » (459).

Cette hypothèse était certes pour plaire aux évolutionnistes et notamment aux mécanistes modernes. Quelque avancée en effet que soit la condensation, elle a dû, à coup sûr, sauvegarder la nature fondamentale de la matière primordiale. C'est donc un droit et un devoir pour les hommes de science de regarder tous les principes simples de la chimie, comme autant de masses homogènes (460).

---

(459) M^me^ Curie, *Les radio-éléments et leur classification (Revue du Mois,* juillet 1914), p. 35.

(460) De Thierry, *Introduction à l'étude de la chimie,* p. 446. Paris, Masson, 1906. « Que cette matière primordiale s'appelle le *principium* ou qu'elle porte le nom de *pantogène* que lui a donné Hinrichs, la matière est une, la condensation de cette matière primitive et la nature de son mouvement, en s'effectuant sur des bases distinctes, donnent naissance à des éléments différents, elle est partout la même... partout elle se meut, partout elle vibre et ces mouvements, qui nous apparaissent comme inséparables de la matière, sont également l'origine de toute force physique

L'unité essentielle de la matière devenait ainsi la conséquence logique de l'hypothèse. Le mécanisme ne tarda pas à relever ce point important, et en y ajoutant la réduction de toutes les forces physiques au mouvement local, il crut avoir étayé sur des assises inébranlables sa conception de l'univers matériel.

175. Critique de cet argument. — L'opinion de Prout, défendue par Thomson et plus tard par Dumas, cessa bientôt de répondre aux espérances qu'on avait fondées sur elle. Dans le but de la vérifier, Berzélius, Turner, Marignac et surtout Stas (461) entreprirent toute une série de recherches, soumirent à un examen plus minutieux les poids adoptés par le chimiste anglais et ceux dont la détermination était encore incertaine. Leurs travaux conduisirent à cette conclusion générale : les poids atomiques d'un grand nombre de corps simples ne sont pas des multiples exacts de celui de l'hydrogène et ne peuvent être représentés par des nombres entiers, si l'on prend pour unité le poids de cet élément (462).

Obligés de renoncer à la forme primitive de l'hypothèse, les chimistes essayèrent de la rajeunir en prenant comme unité, non plus le poids atomique de l'hydrogène, mais un sous-multiple, par exemple 0,50 ou 0,25.

La conception nouvelle ne fut pas heureuse. Plusieurs poids atomiques, ceux du potassium, du chlore et bien d'autres se montraient manifestement rebelles à cette règle (463).

Déjà en 1913, M. Langevin croyait que l'évolution des théories électro-magnétiques fournirait peut-être la raison pour laquelle plusieurs poids atomiques s'écartent des nombres entiers. Cette raison, d'après lui, se trouverait dans les échanges d'énergie interne, et les variations de masse, qui ont lieu lors de la formation des atomes à partir de leurs constituants simples, tels l'hydrogène

---

et chimique. » — Cfr. A. DITTE, *Introduction à l'étude des métaux*. Paris, Société d'éditions scientifiques, 1902.

(461) STAS, *Recherches sur les rapports des poids atomiques (Bulletin de l'Académie royale de Belgique, 2 série,* t. X, 1860). — Cfr. L. HENRY, *Stas et les lois des poids*. Bruxelles, Hayez, 1899. — LOTHAR MEYER, *Les théories modernes de la chimie,* t. I, pp. 135 et suiv. Paris, Carré, 1889.

(462) « Cette hypothèse qui eut son temps de vogue, écrit M. Bruylants, fut définitivement rejetée à la suite des travaux de Stas. Il n'est cependant pas inutile d'insister sur l'hypothèse de l'unité de la matière, puisque de nombreuses fois elle fut reprise sous des formes plus ou moins modifiées. »

D'après cet auteur, « les conceptions électroniques de la physique moderne ont mis de nouveau en vedette la vieille hypothèse, et actuellement on peut concevoir les éléments comme des formes plus ou moins différenciées d'une matière initiale unique qui est peut-être l'éther lumineux. » BRUYLANTS, *La valence chimique (Revue des Questions scientifiques,* janvier-avril, 1912), p. 145.

Nous examinerons plus loin cette dernière hypothèse.

(463) Voir la liste publiée par le Comité international des poids atomiques pour 1912 (*Revue générale des Sciences,* 15 novembre 1911).

ou l'hélium (464). Les prévisions du savant français se sont réalisées.

Les travaux d'Aston ont montré que les poids atomiques de tous les éléments obtenus à l'état de constituants simples sont, avec une grande approximation, des nombres entiers par rapport à l'oxygène, O = 16. Comme le dit cet auteur, « la découverte des isotopes nous a délivrés des grosses fractions se présentant pour des éléments comme le néon et le chlore » (465). Chaque isotope en effet, pris isolément, est soumis à la loi des nombres entiers et si le poids atomique de l'atome chimique semble s'en écarter un peu, la raison en est que ce poids résulte de plusieurs isotopes associés en proportions inégales. Il y a, assurément, dans ce fait, une forte présomption en faveur de l'ancienne théorie de Prout d'après laquelle les poids atomiques de tous les éléments sont des multiples du plus petit d'entre eux (466).

D'autre part, les expériences récentes de Rutherford et de ses collaborateurs sur la désintégration des atomes légers soumis au choc des rayons α sont en faveur l'hypothèse précédente. Ces savants ont réussi à détacher des noyaux d'hydrogène de certains atomes tels que l'azote, le bore, le phosphore, l'aluminium. Ils n'ont pu obtenir cet effet sur des atomes d'oxygène et de carbone dont le poids atomique est un multiple de 4, poids de l'hélium, de sorte qu'on peut considérer ces atomes comme formés de noyaux d'hélium uniquement. Mais n'est-il pas raisonnable d'admettre que ces derniers noyaux sont aussi formés de noyaux d'hydrogène, mais trop fortement soudés ensemble pour se laisser disperser par le bombardement des rayons α ?

Il restait cependant à expliquer pourquoi l'atome d'hydrogène a un poids atomique = 1.008 assez notablement supérieur à la seizième partie de celui de l'oxygène = 16, ou du quart de celui de l'hélium = 4. On pense en avoir trouvé l'explication dans la perte d'énergie qui a dû accompagner la condensation des atomes d'hydrogène en atomes plus massifs et qui, d'après la théorie d'Einstein, doit correspondre à une perte de masse (467).

Que penser de ces découvertes récentes et de leur portée cosmologique ?

Loin de nous la pensée de nier leur importance scientifique ou de mettre en doute la haute probabilité qu'elles confèrent à l'hypothèse de Prout. Sans doute, l'identification de la masse et de l'énergie sur laquelle s'appuie l'explication du caractère du tassement progressif des atomes d'hydrogène, n'a pas encore pris

---

(464) LANGEVIN, *Conférence de la Société physique*, 1913.
(465) ASTON, *Les isotopes*, p. 107. Paris, Hermann, 1923.
(466) Mme CURIE. *L'isotopie et les isotopes*, pp. 141. Paris, Blanchard, 1924.
(467) Mme CURIE, *Ouv. cit.*, p. 141-143.

place parmi les doctrines scientifiques indiscutables ; sans doute aussi l'influence presque nulle de ce phénomène dans la formation des atomes beaucoup plus lourds que celui de l'hélium semble assez étrange. Quoi qu'il en soit, accordons à l'hydrogène le rôle de constituant universel de la matière ; qu'en résultera-t-il au point de vue mécanique ?

D'abord, même dans cette hypothèse, l'hydrogène doit être considéré avec la dualité de ses principes constitutifs, proton et électron, deux principes tellement irréductibles que leur liaison qui est garante de l'unité de l'atome, est fondée sur l'opposition radicale de leur caractère électrique. Au surplus, il nous semble absolument prématuré de porter un jugement définitif sur la nature intime du proton, notamment sur sa constitution matérielle.

En second lieu, il importe de distinguer deux questions, hélas ! trop souvent confondues : la question de l'unité de la matière et celle de son homogénéité. On peut très bien admettre l'unité dans le sens d'une communauté d'origine, regarder par exemple, tous les corps du monde minéral comme se rattachant à un élément primordial, l'hydrogène, et cela sans souscrire à la théorie de l'homogénéité essentielle. L'hypothèse de l'unité de la matière que les données actuelles de la science semblent confirmer, se concilie si bien avec celle de l'hétérogénéité, qu'elle la suppose réalisée au point de départ, dans les principes constitutifs de l'atome d'hydrogène. Quant aux espèces chimiques élémentaires issues de cette source commune, la question d'hétérogénéité reste entière ; nous en reparlerons plus tard. Enfin, quelle que soit la solution de ces problèmes, rien ne nous permet d'en inférer la réductibilité de toutes les propriétés au mouvement local. Pareille assertion est entièrement étrangère à l'hypothèse de Prout.

§ 2

Les relations entre les poids atomiques et les propriétés physico-chimiques de la matière.

176. Argument tiré du système périodique de Mendéléeff. — Reprenant l'idée de Newlands, énoncée déjà en 1864, mais sous une forme trop imprécise pour être acceptée, Lothar Meyer et Mendéléeff, en 1869, rangèrent dans un seul cadre tous les éléments d'après la valeur croissante de leurs poids atomiques, et mirent en relief ces deux faits aussi simples que féconds dans leurs conséquences : 1° Les chiffres qui expriment ces poids ne diffèrent les uns des autres que de quelques unités ; 2° Les propriétés physiques et chimiques se modifient graduellement avec l'accroissement des poids atomiques.

A première vue, le point le plus saillant de cette découverte est l'influence prépondérante exercée par la quantité de matière sur la variation des propriétés qui servent de base à la classification des corps simples.

Or y eut-il jamais fait plus décisif en faveur de l'homogénéité de la matière ? Des différences de masse purement quantitatives entraînent avec elles des différences apparemment qualitatives ; c'est le premier principe du mécanisme.

177. Exposé de ce système. — Rappelons d'abord les grandes lignes du procédé suivi par le chimiste allemand dans son essai de systématisation. Nous en déterminerons ensuite l'exacte portée scientifique.

A partir du lithium (voir le tableau, p. 230), les éléments sont placés les uns à la suite des autres, en série horizontale, d'après la progression de leurs poids atomiques, et la sériation se continue dans le même sens aussi longtemps que les termes nouveaux ne présentent point d'analogie réelle avec l'un des termes précédents.

Ce cas se réalise pour tous les corps échelonnés entre le lithium et le fluor. Chacun d'eux diffère de ses voisins par son atomicité, ses propriétés électriques, son énergie chimique.

Mais après le fluor se présente le sodium, en tous points homologue avec le lithium. Comme ce dernier, il est très positif, monovalent, doué de puissantes affinités pour l'ensemble des négatifs. Il prend place sous ce corps et commence une nouvelle série horizontale qui se prolonge, d'après le même principe, jusqu'au chlore.

Au delà du chlore, le potassium, dont on connaît les liens étroits de parenté avec le sodium, constitue le point de départ d'une troisième série horizontale, et ainsi du reste.

Sans jamais interrompre la gradation des poids atomiques, on obtient de la sorte deux espèces de séries : les unes, horizontales, contenant des éléments hétérologues, c'est-à-dire des corps étrangers les uns aux autres et de caractères disparates ; les autres, verticales, constituées d'éléments analogues et formant une famille naturelle. La première comprend les éléments alcalins, la seconde les alcalino-terreux, la troisième les terreux, la quatrième les carbonides, puis les azotides, les sulfurides, les corps halogènes, c'est-à-dire les grandes classifications admises par tous les chimistes modernes.

Une étude plus détaillée de ce tableau général nous révèle d'autres particularités étonnantes.

Dans les séries horizontales manifestement continues comme le sont les quatre premières, on constate que la différence des

SYSTÈME PÉRIODIQUE.[468]

Lithium 7,03	Glucinium 9,10	Bore 11,01	Carbone 12	Azote 14,041	Oxygène 16	Fluor 19			
Sodium 23,06	Magnésium 24,38	Aluminium 27,1	Silicium 28,4	Phosphore 31,03	Soufre 32,06	Chlore 35,453			
Potassium 39,14	Calcium 40	Scandium 44,1	Titane 48,1	Vanadium 51,2	Chrome 52,2	Manganèse 55	Fer 56	Cobalt 59 ?	Nickel 59 ?
Cuivre 63,3	Zinc 65,5	Gallium 69,9	Germanium 72,3	Arsenic 75	Sélénium 79,1	Brome 79,963			
Rubidium 85,4	Strontium 87,5	Ittrium 88,7	Zirconium 90,7	Niobium 94.2	Molybdène 95.9		Ruthénium 103,8	Rhodium 104,2	Palladium 106
Argent 107.938	Cadmium 112,1	Indium 113,7	Etain 118,1	Antimoine 120,3	Tellure 125	Iode 126,86			
Caesium 132,9	Baryum 137	Lanthane 138,5	Cérium 140,2	Néodyme 140,8	Praséodyme 143,6				
		Itterbium 173,2		Tantale 183	Tungstène 184		Osmium 192	Iridium 193,2	Platine 194,8
Or 197,2	Mercure 200,4	Thallium 204,1	Plomb 206,91	Bismuth 208					
			Thorium 232,1		Uranium 239,4				

(468) Le système que nous donnons ici est dû à Lothar Meyer. Il diffère de celui de Mendéléeff en ce que les lignes horizontales prennent chez le chimiste russe une position verticale.

poids atomiques, entre deux éléments consécutifs, ne dépasse guère deux ou trois unités.

Se basant sur ce fait, Mendéléeff avait laissé des lacunes ou des places réservées pour des corps à découvrir, partout où l'écart des poids paraissait sensiblement plus considérable. C'est ainsi qu'entre le calcium et le titane il y avait une place inoccupée, deux autres entre le zinc et l'arsenic. Les prévisions furent réalisées et trois nouveaux éléments, le scandium, le gallium et le germanium vinrent remplir les vides. De plus, chose digne de remarque, ces corps présentaient exactement les propriétés que leur avait assignées Mendéléeff d'après celles des corps voisins dans le cadre schématique.

A mesure que l'on descend davantage dans les séries inférieures, les écarts deviennent plus fréquents, parfois même très sensibles. Aussi les lacunes sont-elles nombreuses ; elles attendent la découverte de nouveaux corps simples. (*Voir tableau, page précédente*).

D'un point de vue général, on peut distinguer deux petites périodes continues, formées chacune de sept éléments : l'une s'étend du lithium au fluor, l'autre du sodium au chlore.

Puis, deux grandes périodes dont l'une, composée de dix-sept éléments, va du potassium au brome, et l'autre, formée de seize éléments, s'échelonne entre le rubidium et l'iode. Chacune d'elles est divisée en parties égales par un groupe de trois éléments ayant entre eux d'étroites analogies : le fer, le cobalt et le nickel d'une part, le rubidium, le ruthénium et le palladium de l'autre. Plus bas dans l'échelle des poids atomiques, se rencontre encore un groupe semblable constitué de l'osmium, de l'iridium et du platine.

Cependant, de toutes les constatations, la plus importante pour nous est celle qui regarde la variation des propriétés.

Si l'on examine par exemple les éléments des deux premières séries sous le rapport de l'atomicité, de la densité, du volume atomique et du caractère électrique, voici les particularités que l'on observe :

L'atomicité, relativement au chlore ou à l'hydrogène, s'accroît régulièrement de 1 à 4 pour diminuer ensuite de 4 à 1.

Les densités augmentent graduellement de manière à atteindre un maximum vers le milieu des séries ; puis elles diminuent jusqu'au dernier terme.

Quant aux volumes atomiques, qui sont les quotients des poids atomiques par les densités, ils suivent une marche décroissante et atteignent un minimum vers le milieu des groupes sériés.

	Li	G	Bo	C	Az	O	Fl
Atomicité	1	2	3	4	3	2	1
Densité	0,59	1,64	2,68	3,3	?	?	?
Vol. atomique	11,9	5,6	4	3,6	?	?	?
Caract. élect.	+	+	—	—	—	—	—
	Na	Mg	Al	Si	h	S	Cl
Atomicité	1	2	3	4	3	2	1
Densité	0,97	1,74	2,56	2,49	2,3	2,04	1,38
Vol. atomique	23,07	13,8	10,6	11,2	13,5	15,7	25,6
Caract. élect.	+	+	+	—	—	—	—

Enfin, le caractère électrique, très positif au début de chaque période, s'atténue bientôt et devient très négatif à la fin.

Ce travail dont nous ne donnons ici qu'un court aperçu (469), fut étendu par les chimistes à presque toutes les autres propriétés de la matière, et le résultat des expériences ne fit que confirmer davantage la belle conclusion énoncée par Mendéléeff : *Les propriétés des éléments se trouvent en relation périodique avec leurs poids atomiques.*

Loin de progresser d'une manière continue du corps simple le plus léger au corps le plus lourd, les propriétés changent de terme en terme, mais de façon qu'au delà d'un certain nombre de corps on retrouve les mêmes propriétés ou tout au moins des propriétés analogues. Elles parcourent donc des cycles ou périodes, et, dans une même période, tantôt la gradation est progressive du premier membre au dernier, tantôt elle est en partie ascendante et en partie descendante.

178. Système périodique rajeuni. — Le système de Lothar Meyer a dû subir des modifications importantes à la suite de la

(469) Les analogies les plus frappantes apparaissent surtout dans la faculté de former des acides ou des bases. Ainsi la première série verticale comprend les métaux alcalins à caractère basique très prononcé ; la seconde, les alcalino-terreux dont les bases sont aussi très énergiques ; la troisième, les terreux dont les oxydes constituent des bases faibles. La famille du carbone a des oxydes faiblement acides. Les termes de la sixième série présentent un caractère acide très net qui atteint son maximum d'intensité chez les corps de la septième.

découverte de nouveaux corps simples, notamment du radium et des cinq corps qui forment la famille naturelle des gaz inertes, l'hélium, le néon, l'argon, le krypton, et le xénon. Ces corps, on le sait, n'ont pas d'affinité chimique, ne forment aucune combinaison, ne sont donc ni négatifs, ni positifs. Pour les faire rentrer dans le tableau général et éliminer en même temps, des familles naturelles, des éléments qui y prenaient place à raison de leurs poids atomiques, mais en diffèrent considérablement par leurs propriétés, on a dû imaginer une autre classification qui réponde mieux à ces exigences.

Le fait qui a modifié le plus profondément le système de Mendéléeff est la découverte des isotopes. C'est-à-dire de corps doués des mêmes propriétés chimiques et physiques mais de poids atomiques différents. A ce fait s'ajoute la découverte d'un certain nombre de types chimiques irréductibles entre eux et possédant néanmoins un même poids atomique.

On comprend, qu'à la lumière de ces phénomènes nouveaux, le poids atomique, qui était la base du système périodique et la source à laquelle se rattachait l'ensemble des propriétés caractéristiques des éléments, devait perdre de son importance au profit d'un facteur nouveau mieux en harmonie avec l'ensemble des faits. On a donné à ce facteur le nom de *nombre atomique*. D'après la conception actuelle le type chimique d'un élément est déterminé non par son poids atomique mais par la place qu'il occupe dans le système périodique rajeuni. Ces numéros d'ordre s'étendent de l'H = 1 à l'uranium = 92.

Si cette place revêt actuellement une signification si profonde, la raison en est qu'à elle se rattache une grandeur physique d'une importance fondamentale, à savoir, la charge positive du *noyau* partie centrale de l'atome. Le noyau de chaque espèce chimique élémentaire porte un nombre de charges positives exprimées par le numéro d'ordre de cet élément. Or cette charge nucléaire, en fixant le nombre et la structure des électrons périphériques, détermine du même coup l'ensemble des propriétés chimiques et physiques de l'individualité atomique. Grâce à cette théorie, les isotopes viennent se placer d'eux-mêmes à côté de leurs congénères, sous un même numéro d'ordre, et cela, malgré parfois des différences notables dans les poids de leurs atomes.

Quant à la *périodicité* des propriétés physico-chimiques, la théorie électronique essaye d'en rendre compte en se basant sur plusieurs hypothèses. Elle suppose, comme il a été dit, que les propriétés physiques et chimiques se rattachent surtout à la zone d'électrons la plus éloignée du noyau atomique et que cette zone comprend huit électrons chez tous les gaz nobles, l'hélium ex-

cepté. Ce nombre huit est le nombre le plus élevé que peut contenir cette ceinture externe ; on le regarde comme la cause de la grande stabilité de ces corps gazeux, inertes. En second lieu, la théorie admet que, dans chacune des périodes, les atomes des autres éléments tendent à se rapprocher de ces gaz inertes, à s'entourer aussi d'une ceinture extérieure de huit électrons, soit en perdant des électrons, tel est le cas pour les métaux, soit en captant des électrons comme le font les métalloïdes. Les atomes du fluor et de l'oxygène, par exemple, sont capables de s'unir chacun à autant d'électrons qu'il en manque à leur zone périphérique pour que le nombre huit soit atteint. Tandis que les éléments qui suivent immédiatement le néon, à savoir le sodium, le magnésium et l'aluminium, perdent plus ou moins facilement tous leurs électrons périphériques, en sorte que leurs ions contiennent le même nombre d'électrons que l'atome du néon. En résumé, on admet que les ions qui résultent de la perte ou du gain d'électrons de valence, acquièrent des constitutions analogues à celle des atomes des gaz nobles.

Telle serait la raison explicative des variations régulières de l'atomicité et du caractère électrochimique dans une petite période (470).

Cette théorie que nous ne pouvons considérer ici que dans ses grandes lignes, est encore vivement discutée. Les chimistes surtout lui témoignent peu d'enthousiasme. « Tant que la théorie, écrit Urbain, se bornera à dire que les propriétés chimiques, dépendent des électrons périphériques extérieurs, sans préciser la façon dont les différentes propriétés en dépendent, les chimistes la considéreront comme étrangère à leur science » (471).

179. Critique de cet argument. — Que conclure de là ?

Que la découverte du savant russe enrichie de tous les appoints de la physique moderne, est pour le mécanisme un échec, une preuve manifeste de son insuffisance.

Puisque la variation des propriétés suit une loi de périodicité compliquée, il n'est évidemment plus permis d'en attribuer la cause à un simple changement quantitatif de matière homogène. Car, de toute nécessité, la progression continue des masses atomiques

---

(470) Cfr. BERTHOUD, *Les nouvelles conceptions de la matière et de l'atome*, pp. 295 et suiv. Paris, Doin, 1923. Pour cet auteur, si le caractère positif va en s'atténuant, dans chaque petite période, à mesure que le nombre atomique augmente, il faut en voir la raison dans ce fait que la charge positive du noyau, augmentant progressivement dans chaque période, d'un élément à l'autre, doit aussi exercer une attraction progressive sur les électrons périphériques et rendre de plus en plus difficile leur séparation de l'atome.

(471) URBAIN, *Les notions fondamentales d'élément chimique et d'atome*, p. 124. Paris, Gauthier-Villars, 1925.

aurait pour corrélatif soit l'amoindrissement, soit l'enrichissement progressif et continu de leurs propriétés.

Or introduire dans la substance même un principe de différenciation, autre que la quantité, c'est saper par la base la théorie mécanique et souscrire à l'hypothèse des natures spécifiques.

« Après avoir considéré l'établissement du système périodique comme une découverte des plus importantes et cru pouvoir y rattacher de vastes spéculations sur l'unité de la matière, écrit M. Nernst, on est revenu dans ces derniers temps à une conception plus modérée de ces régularités qui, certainement très dignes d'attention, sont encore bien voilées... C'est pourquoi nous voyons avec joie qu'une recherche réfléchie et consciente du but à atteindre s'occupe actuellement de ce sujet d'une importance fondamentale pour la chimie théorique » (472).

Au surplus, on aurait tort de s'imaginer que cette œuvre de systématisation est arrivée à sa perfection définitive. Telle qu'elle est, elle a sans doute rendu d'immenses services à la chimie, mais on y trouve encore bon nombre de points obscurs, des incertitudes, voire même des anomalies.

Après avoir relevé un certain nombre de ces anomalies, l'auteur précité n'hésite pas à écrire : « Il apparaît de la sorte que la théorie néglige volontiers, dans les cas embarrassants, les propriétés chimiques, alors qu'elle s'appuie sur elles dans les cas favorables... Les chimistes reconnaissent, de bonne grâce, que la perfection ne peut exister en matière de classification. Mais ils répugnent à admettre qu'une classification, qu'ils jugent insuffisante, soit considérée comme un abrégé de la chimie tout entière. Ils ont la certitude que la classification périodique ne reflète qu'un très petit nombre de phénomènes chimiques et n'a pas l'importance que les néo-théoriciens sont disposés à lui accorder » (473).

§ 3

L'analyse spectrale du monde stellaire

180. Exposé et interprétation mécanique du fait. — Il s'est produit dans les astres, dit Sir Lockyer, une évolution de la matière inorganique analogue à l'évolution qu'on admet généralement aujourd'hui dans le règne des êtres vivants.

A en juger d'après leurs spectres, les étoiles les plus chaudes

(472) Nernst, *Traité de chimie générale*, 1re partie, p. 215. Paris, Hermann, 1911.

(473) Urbain, *Ouv. cit.*, pp. 122-125.

contiennent une forme d'hydrogène plus simple que l'hydrogène ordinaire, puis, à côté de cet élément inconnu sur notre globe, l'hydrogène, l'hélium et quelques autres éléments à poids atomique peu élevé.

Dans les étoiles dont la température est immédiatement inférieure, se rencontrent l'oxygène, l'azote, le carbone.

Dans les étoiles moins chaudes se découvrent les formes d'un certain nombre de métaux, tels le fer, le cuivre, le manganèse ; mais ces formes mêmes ne peuvent s'obtenir dans les laboratoires que sous l'influence des plus hautes températures produites par l'étincelle électrique.

Enfin, dans les étoiles beaucoup plus froides apparaissent les caractères ordinaires du fer, du calcium et d'un certain nombre d'autres métaux.

La matière minérale des étoiles revêt donc des formes de plus en plus complexes à mesure que la température s'abaisse. Et puisqu'aux températures les plus hautes, elle se trouve dissociée en particules extrêmement ténues qui constituent le proto-hydrogène, il est permis de regarder ce dernier corps comme le point de départ d'une condensation progressive qui a donné naissance aux corps chimiques actuels.

D'ailleurs, l'expérience le prouve, une même substance, soumise à des températures croissantes donne des spectres très différents, d'autant plus simples que la température est plus élevée.

Il résulte de ces faits que la grande diversité des spectres produits par les diverses étoiles provient, non pas d'une différence essentielle de composition chimique, mais d'une différence d'état de condensation d'une même matière primitive. Aussi, toutes les étoiles sont destinées à parcourir les mêmes stades (474).

181. Critique. L'évolution stellaire n'est pas un fait certain. — L'hypothèse de l'évolution appliquée au monde sidéral paraît certes bien séduisante, et on ne peut nier que les faits dont elle se réclame sont aussi suggestifs.

Cependant, s'impose-t-elle ?

Plusieurs auteurs, entre autres M. Schuster, admettent volontiers les données de l'analyse spectrale, distinguent eux aussi les étoilles gazeuses ou étoiles à hydrogène, et les étoiles moins chaudes ou étoiles métalliques, sans souscrire néanmoins à l'hypothèse d'une dissociation des éléments chimiques, ou d'une évolution progressive.

Pour M. Schuster, par exemple, les différentes étoiles ont une composition chimique *moyenne*. S'il n'y a pas de courants de con-

---

(474) Sir Lockyer, *L'évolution inorganique*, pp. 87-99, c. IX : la preuve stellaire. 120-127, 188, 248-255, etc... Paris, Alcan, 1905.

vection, l'hydrogène le plus léger apparaîtra à la surface, et l'étoile présentera une forme gazeuse. Si, au contraire, des courants de convection produisent un brassage continuel, les vapeurs métalliques sont amenées dans les régions superficielles et l'étoile aura l'aspect métallique (475).

D'après Arrhénius, le fait invoqué par Sir Lockyer n'aurait même pas du tout la signification que lui donne cet auteur.

« Le spectre des nébuleuses, écrit H. Poincaré, présente, en général les raies de l'hydrogène, de l'hélium et d'un autre élément... L'hélium et l'hydrogène, étant des gaz très peu condensables, sont susceptibles d'exister à l'*état gazeux* aux très basses températures que M. Arrhénius attribue aux nébuleuses : à ces températures, tous les autres éléments sont solidifiés ou liquéfiés ; par suite, les parties profondes de la nébuleuse peuvent contenir ces éléments condensés ; mais les parties extérieures ne doivent contenir que les éléments gazeux, c'est-à-dire l'hydrogène et l'hélium. La périphérie de la nébuleuse étant seule lumineuse, d'après M. Arrhénius, il n'est pas étonnant que le spectre de la nébuleuse ne présente que les raies de ces derniers éléments » (476).

Au surplus, il importe de noter que si les étoiles les plus chaudes sont riches en hydrogène et en gaz légers, elles contiennent aussi des métaux déjà relativement complexes, tels le calcium, le magnésium, le silicium. Ces métaux apparaissent même avant qu'on ne trouve aucune trace d'autres métaux d'ailleurs plus simples (477). Il faut donc admettre la persistance simultanée de formes simples et de formes complexes, des stabilités différentes pour des formes très diverses. Ce sont là des difficultés réelles dont la solution proposée par Sir Lockyer reste encore problématique.

Dès lors on comprend que des spécialistes en la matière gardent encore à ce sujet une grande réserve : « Plus on étudie cette question de l'origine des astres, écrit H. Poincaré, moins on est pressé de conclure. Chacune des théories proposées est séduisante par certains côtés. Les unes donnent d'une façon très satisfaisante l'explication d'un certain nombre de faits, les autres embrassent davantage, mais les explications perdent en précision ce qu'elles gagnent en étendue ; ou bien au contraire, elles nous donnent une

---

(475) H. POINCARÉ, *les hypothèses cosmogoniques*, pp. 236 et suiv. Paris, Hermann, 1911.

(476) H. POINCARÉ, *Les hypothèses cosmogoniques*, p. 248. — Pour l'exposé détaillé de la théorie, cfr. ARRHÉNIUS, *L'évolution des mondes*, surtout c. IV, VI et VII. Paris, Béranger, 1910.

(477) SIR LOCKYER, *L'évolution inorganique*, p. 257. Paris, Alcan, 1905.

précision très grande, mais qui n'est qu'illusion et qui sent le coup de pouce » (478).

« Les conclusions sur l'évolution des astres, que l'on a pu tirer de l'analyse spectrale, dit M. Salet, sont des vues hardies par lesquelles des savants de génie ont cherché à embrasser l'ensemble des phénomènes cosmogoniques ; ce ne sont pas encore des vérités définitivement acquises et basées sur des faits indiscutables.

» Si la notion d'évolution s'impose à notre esprit, c'est comme une conséquence d'une doctrine philosophique couramment admise aujourd'hui plutôt que comme un résultat d'expérience... La théorie intégrale de l'évolution inorganique admet que les différents éléments, que nous appelons corps simples, ne sont que des états différents d'une même substance élémentaire, qui serait la forme chimique primitive produite par la dissociation, au moyen de la chaleur, de tous les corps chimiques.

» On a déjà donné des noms à cette substance hypothétique que l'on désigne sous le nom de *Protyle,* etc., et qui n'est autre chose que le *Substratum universel* des anciens. Mais, à notre époque, la chimie expérimentale est encore loin de mener à une telle conclusion (479).

A notre avis, cependant, l'hypothèse d'une certaine évolution stellaire acquiert chaque jour une probabilité croissante. Les découvertes par la radioactivité nous incitent à admettre la réductibilité de tous les corps terrestres à deux éléments primitifs : le proton et l'électron. Pourquoi donc pareille évolution n'aurait-elle pas eu lieu dans le monde sidéral où se retrouve la même matière et dans des états semblables ? Lockyer pouvait donc conclure que le refroidissement des astres marche de pair avec une évolution de la matière dans laquelle des atomes de plus en plus complexes se forment par condensation d'un petit nombre d'éléments très simples. De même, avec raison, il pouvait regarder comme éléments primordiaux l'hydrogène et l'hélium que l'analyse spectrale lui avait fait découvrir dans les nébuleuses et les étoiles les plus chaudes. Son unique erreur, semble-t-il, fut de conclure à l'existence d'autres gaz, inconnus sur la terre et de leur attribuer le rôle de protoéléments ; à citer notamment le protohydrogène, le nébulium, l'archonium, etc. « De tous les arguments mis en avant pour affirmer l'existence de ces protoéléments autres que l'hydrogène et l'hélium, aucun n'est très solide et ne tient devant l'impossibilité

---

(478) H. Poincaré, *ouv. cit.*, p. XX, Paris, Hermann, 1911.
(479) P. Salet, *Spectroscopie astronomique,* pp. 16-17. Paris, Doin, 1909.

de concilier cette hypothèse avec nos connaissances actuelles sur la constitution des atomes » (480).

182. Même si elle était prouvée, l'hypothèse d'une condensation progressive ne justifierait pas encore le mécanisme. — Si la théorie de l'évolution stellaire était fondée, faudrait-il en conclure avec les mécanistes que tous les corps *actuels,* simples ou composés, sont essentiellement homogènes et régis par les lois mécaniques du mouvement ?

Cette conclusion nous paraît absolument illégitime.

Quel que fût son état initial, il est certain que jamais la matière primitive n'aurait pu revêtir graduellement les formes si variées des corps chimiques actuellement existants, si l'on suppose, comme point de départ de l'évolution, une homogénéité parfaite (481). De l'homogène ne peut sortir que de l'homogène, et une action n'est possible qu'entre deux niveaux d'énergie différents.

Dès le début, telle est d'ailleurs l'opinion de la généralité des astronomes, il devait y avoir dans la matière une hétérogénéité au moins accidentelle, affectant les forces mises en jeu par l'évolution.

Or, cette hétérogénéité admise, on s'explique sans difficulté qu'une matière *substantiellement* homogène acquière, sous l'empire des changements accidentels progressifs, des états substantiels nouveaux, et évolue en espèces diverses. La condensation, en réunissant en un même être une somme plus considérable de matière, lui confère aussi plus d'énergie ; cette masse condensée, enrichie de l'apport des forces extrinsèques, peut très bien nécessiter, à un moment donné, un principe essentiel nouveau qui lui donne son unité foncière et sa nature : toute nature, en effet, a son pouvoir de résistance limité, comme elle a ses exigences. Dépasser ces limites ou la dépouiller de ses conditions d'existence, c'est la transformer.

Cette évolution réellement spécifique d'*une* matière primitive *essentiellement* homogène, nous la croyons donc possible, à une double condition : d'abord, à la condition d'une certaine hétérogénéité accidentelle ; en second lieu, à la condition de supposer

---

(480) BERTHOUD. *Les nouvelles conceptions de la matière et de l'atome,* pp. 235-238. Paris, Doin, 1923.

(481) Parmi les astronomes, les uns attribuent à la nébuleuse primitive une véritable hétérogénéité chimique ; d'autres se contentent d'une hétérogénéité physique ou dynamique. — Cfr. WOLF, *Les hypothèses cosmologiques,* Paris, Gauthier-Villars, 1886. — FAYE. *Sur l'origine des mondes,* Paris, Gauthier-Villars, 1896. — BRAUN, *Kosmogonie,* Münster, 1895. — DU LIGONDÈS, *Formation mécanique du système du monde,* Paris, Gauthier-Villars, 1897. — *Sur la formation du système solaire (Revue générale des Sciences,* 30 mars 1912), pp. 218 et suiv. — MOREUX, *Le problème solaire,* Paris, Bertaux, 1900.

les vraies individualités primitives douées d'une nature réelle, c'est-à-dire d'un principe essentiel fixatif de l'état qualitatif de l'être, de ses exigences, de sa tendance interne.

A notre avis, la possibilité de pareille hypothèse s'impose même aux partisans de l'unité chimique des composés et de la diversité spécifique des corps allotropes.

Ces philosophes s'accordent, en général, à placer une différence essentielle entre les divers hydrocarbures saturés, tels C_2H_6, C_3H_8, etc. Or, bon nombre de ces corps sont produits actuellement par condensation progressive d'hydrocarbures plus simples (482).

Ainsi en est-il des variétés allotropiques de certains corps, notamment du phosphore, du bore, etc. C'est à un simple fait de polymérisation ou de condensation qu'il faut rattacher les différences parfois si profondes, que l'on constate entre les divers états d'un même corps simple (483).

§ 4

Faits d'allotropie

183. Caractère de ce phénomène. — On donne le nom d'allotropie à la propriété que possèdent certains corps simples de se présenter sous des variétés multiples, parfois très diverses. L'oxygène, le soufre, le phosphore et le carbone nous offrent des exemples typiques de ce phénomène.

Ainsi l'on connaît trois sortes de phosphore : le phosphore blanc, le phosphore rouge et le phophore métallique.

Phosphore blanc. — Densité 1,82 à 1,84. Phosphorescent. Vénéneux. Soluble dans CS_2. Fusible à 44°2'. Inflammable à l'air à 60°.

Phosphore rouge. — Densité 2,10. Non phosphorescent. Non vénéneux. Insoluble. Infusible. Inflammable à 260°.

Phosphore métallique. — Densité 2,34.

Aujourd'hui, on s'accorde généralement à placer la cause de ces différenciations dans l'inégale richesse atomique de la molécule constitutive de ces variétés. Le nombre d'atomes agglomérés dans l'édifice moléculaire, diffère d'une variété à l'autre, et ces divers degrés de condensation ont leur répercussion sur les caractères du corps simple.

Or, si un même corps peut, par une simple condensation pro-

(482) Cfr. DUCLAUX, *La chimie de la matière vivante*, passim. Paris, Alcan, 1910.

(483) Voir ci-après, § 4, n°s 183 et 184.

gressive, donner naissance à des corps différents, pourquoi la matière primitive homogène n'aurait-elle pas pu, par un phénomène semblable, engendrer l'infinie variété des corps chimiques ?

184. Examen de cette difficulté. — Distinguons d'abord deux espèces d'allotropie : l'une se trahit par des différences accidentelles d'ordre physique ; plusieurs variétés du carbone amorphe sont dans ce cas. L'autre, au contraire, porte sur l'ensemble des propriétés, y compris l'énergie chimique et la forme cristalline.

S'agit-il de la première catégorie, l'explication mécanique est parfaitement admissible. Ce n'est un mystère pour personne que l'état d'agglomération de la matière peut exercer une réelle influence sur la manière d'être de certaines propriétés physiques, sans causer aucun préjudice à la nature même du corps. Aussi, les changements peuvent varier à l'infini avec les agents qui les provoquent.

Mais il n'en est plus ainsi de la seconde catégorie. L'invariabilité du phénomène thermique qui accompagne le passage d'une variété à l'autre, la diversité des formes cristallines et les altérations profondes des affinités nous montrent que, dans ces cas, les molécules réagissantes ont été soumises à une véritable combinaison chimique.

Or, la constance et la fixité des propriétés physico-chimiques du nouveau composé ne sauraient se concilier avec une conception purement mécanique de la matière. Comment concevoir, en effet, l'invariabilité de pareil corps, en dépit de la variabilité et de la diversité de ces causes, s'il n'y a pas dans les générateurs un principe interne de finalité et d'orientation, un principe fixatif de l'espèce et de ses caractères distinctifs ?

Ainsi qu'il a été dit plus haut, à cette condition, mais à cette condition seulement, on peut admettre que le monde actuel résulte de l'évolution progressive d'une matière primitive homogène.

Le grand reproche que nous adressons au mécanisme, c'est sans doute d'avoir homogénéisé le monde matériel, mais c'est surtout d'avoir éliminé de la matière commune, initiale — supposée même homogène — ce qu'Aristote appelait, d'un mot, la *nature*, c'est-à-dire, cet élément substantiel qui, dans chaque être, est la source des énergies, le principe régulateur des activités, la mesure des résistances.

En éliminant cet élément interne, le mécanisme ne supprime pas seulement, en fait, toute diversité spécifique ; il supprime la toute dernière cause sans laquelle cette diversité n'est même plus possible.

Dans tous les cas d'allotropie chimique, rien n'empêche, au moins en théorie, que les agents physiques surélèvent les ten-

dances naturelles du corps et l'amènent ainsi à abandonner son état normal pour passer à des états substantiels transitoires.

Les allotropies du phosphore sont à ce sujet très instructives. Quand on veut transformer la variété blanche en variété rouge, il faut la soumettre pendant 12 heures à une température moyenne de 240°, ou à l'action prolongée de la lumière. Dans ces conditions, le phosphore blanc perd 19,2 calories par molécule gramme.

De plus, chose vraiment digne de remarque et qui nous montre bien que, de toutes les variétés allotropiques d'un même corps, une seule constitue pour lui l'état naturel, c'est l'identité des produits issus de la combinaison de toutes ces formes allotropiques avec un même corps hétérogène. En d'autres termes, toutes les différences de l'état libre disparaissent dans les composés.

Enfin, la stabilité relative des diverses modifications semble aussi confirmer cette opinion. Le soufre prismatique, abandonné à lui-même, perd peu à peu sa forme cristalline et se revêt de la forme octaédrique, stable à la température ordinaire. L'ozone O_3 est un corps endothermique, éminemment instable, qu'un choc violent, un rayon de lumière ou un peu de chaleur transforme en oxygène.

LIVRE V
LE DYNAMISME

ARTICLE PREMIER

Exposé du dynamisme

La pensée dynamiste a revêtu des formes multiples. Erigée par Leibniz en un système complet de cosmologie, elle a subi de nombreuses et profondes modifications, surtout au siècle dernier, en sorte qu'à l'heure présente, les idées principielles réellement communes à tous les systèmes se résument en un très petit nombre de propositions.

Afin d'en saisir exactement la teneur, et de discerner à la fois parmi les divergences de vues, celles qui ont une réelle importance cosmologique, retraçons à grands traits les formes originales de cette théorie.

185. Système de Leibniz. — Le dynamisme leibnizien est un système de réaction contre la physique cartésienne (484).

Descartes avait identifié l'étendue avec l'essence du corps. Le philosophe de Hanovre commence par établir que les premiers éléments sont des substances simples, inétendues et partant indivisibles.

L'extension, dit-il, est la répétition ou la multiplication d'une chose. Or la chose qu'on multiplie est antérieure au fait de la multiplication. De plus, une matière étendue est un tout composé de parties. Or, tout composé présuppose ses composants. La division doit donc conduire finalement à des éléments simples, inétendues, à des monades (485).

Pour Descartes, les corps sont des masses inertes, dépourvues de tout principe interne d'activité. Pour Leibniz, tous les êtres sont essentiellement actifs.

Seulement, à raison de leur simplicité, les monades ne peuvent être influencées du dehors, car le mouvement implique une modification dans l'ordre des parties intégrantes du corps, et la monade n'a point de parties (486).

(484) Cfr. WINDELBAND, *Geschichte der neueren Philosophie*, I. B., S. 467. Leipzig, Breitkopf, 1899.
(485) *Œuvres philosophiques de Leibniz*, Lettre écrite en 1693.
(486) *Ouv. cit., La Monadologie*, p. 595, n. 7.

D'autre part, il faut bien reconnaître que les propriétés corporelles sont soumises à des changements incessants. Or, tout effet demande une cause. Fidèle à son principe, Leibniz cherche dans la monade même la cause de ses changements et la regarde comme une force simple, une substance essentiellement active et passive, toujours en action (487).

Mais quelle est la nature de cette activité interne ?

Elle consiste en des perceptions et des appétitions.

Les perceptions ont pour objet l'univers entier, l'ensemble des êtres qui le constituent, et les relations qui rattachent ces êtres les uns aux autres.

L'appétition est le principe interne qui fait passer la monade d'une perception à une autre perception similaire, tendant ainsi à en élargir constamment le cercle, à réaliser progressivement la fin naturelle de l'être, c'est-à-dire la perception claire de l'univers. Mais il n'est au pouvoir d'aucune substance matérielle d'atteindre cette fin idéale (488).

Quant à la perfection des monades, elle dépend du degré de clarté dont sont douées leurs perceptions. Lorsque celles-ci sont suffisamment stables et distinctes, elles engendrent la mémoire et la conscience. Les monades du monde inorganique n'arrivent jamais à pareil degré de développement.

Enfin, quoique l'immanence complète de toutes les activités empêche les corps de s'influencer mutuellement, tout se passe, grâce à une harmonie préétablie par le Créateur, comme si l'ordre de coordination et de subordination était le résultat d'interactions réelles.

186. **Système de Kant.** — Deux forces, dit Kant, constituent l'essence du corps : la force attractive et la force répulsive.

Une matière donnée occupe un espace déterminé, non par le simple fait de son existence, mais par une force répulsive qui rend cet espace impénétrable à tout élément étranger (489). L'occupation du lieu est, en un mot, essentiellement active.

D'autre part, comme la force répulsive tend, en vertu de sa nature, à prendre une extension toujours croissante, le corps aurait un volume infini, s'il n'existait en lui une force attractive, destinée à maintenir dans de justes limites sa tendance à l'expansion.

L'union de ces deux énergies est donc indispensable pour constituer un corps, car, sans la première, la seconde le réduirait à un point mathématique. Aussi ces deux forces se trouvent-elles

---

(487) *Ouv. cit., De la nature en elle-même,* p. 561.

(488) *Ouv. cit., La Monadologie,* passim.

(489) Il va sans dire que nous ne nous occupons pas ici de l'orientation subjective que toute cette théorie revêt dans le système de Kant.

dans tout espace occupé par la matière et dans chacune de ses parties.

Quelle est leur nature ? Quel est leur mode d'action ?

La force répulsive n'agit qu'au contact. La force attractive peut agir aussi à distance. Elles sont spécifiquement distinctes l'une de l'autre.

La diversité des corps tire son origine du mode d'agencement interne de ces forces contraires. Les propriétés corporelles et les phénomènes si variés auxquels elles donnent naissance se réduisent, en dernière analyse, à ces deux principes constitutifs et à leurs influences réciproques (490).

187. Système de Boscovich. — D'après ce philosophe, les premiers éléments des corps sont simples ou inétendus, absolument indivisibles et distants les uns des autres :

« In immenso vacuo ita dispersa sunt ut bina quaevis a se invicem distent per aliquod intervallum quod quidem augeri potest et minui sed penitus evanescere non potest sine compenetratione ipsorum punctorum : eorum enim contiguitatem nullam admitto possibilem, sed illud arbitror omnino certum, si distantia duorum materiae punctorum sit nulla, idem prorsus spatii vulgo concepti punctum indivisibile occupari ab utroque deberi et haberi veram et omnimodam compenetrationem » (491).

Ces éléments sont constitués de forces attractive et répulsive dont l'activité est réglée par une loi bien déterminée :

« Lex autem virium est ejusmodi ut in minimis distantiis sint repulsivae atque eo majores in infinitum quo distantiae ipsae minuuntur in infinitum, ita ut pares sint extinguendae cuivis velocitati utcunque magnae, cum qua punctum alterum possit accedere, antequam eorum distantia evanescat ; distantiis vero auctis minuuntur ita ut in quadam distantia perquam exigua evadat vis nulla, tum adhuc aucta distantia mutentur in attractivas primo crescentes, deinde decrescentes, evanescentes, migrantes iterum in attractivas atque per vices in distantiis plurimis sed adhuc perquam exiguis, donec, ubi ad aliquando majores distantias ventum sit, incipiant esse perpetuo attractivae, et ad sensum reciproce proportionales quadratis distantiarum, atque id vel utcumque augeantur distantiae etiam in infinitum » (492).

Entre ces forces il n'y a pas lieu d'établir de distinction spécifique, vu qu'elles ne diffèrent l'une de l'autre que par la direction de leur mouvement :

---

(490) KANT, *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft. Kritik der Urtheilskraft.*

(491) BOSCOVICH, *Philosophiae naturalis theoria.* P. I, n. 7. Viennae, 1759.

(492) *Loc. cit.*, n. 10.

« Utraque vis ad eamdem speciem pertinet, cum altera respectu alterius negativa sit, et negativa a positivis specie non differant. Alteram negativam esse respectu alterius, patet inde, quod tantummodo differant in directione quae in altera est prorsus opposita directioni alterius » (493).

Ici, comme le contact immédiat est physiquement impossible, l'action se fait toujours à distance (494).

Selon Boscovich, la diversité des phénomènes provient des modes variés d'après lesquels ces énergies primordiales se combinent entre elles et sont influencées par les autres corps. Aussi, bien que la matière soit homogène, les corps se différencient, par le nombre des forces associées, par l'agencement de leurs éléments constitutifs, par leurs rapports avec les énergies qui les environnent.

188. Système du P. Carbonnelle. — Comme il l'avoue lui-même, l'auteur de ce système s'est visiblement inspiré des idées de Boscovich pour qui il ne cache pas son admiration. « On a vraiment peine à croire, dit-il, qu'un homme ait pu, au milieu du XVIII[e] siècle, s'élever à cette hauteur ; mais, d'autre part, on s'étonne qu'il ait pu s'y arrêter. Car si nous faisons abstraction de la loi détaillée qu'il attribue aux variations de la force centrale dont chacun de ses atomes est le siège, nous devons reconnaître dans ce passage une portion essentielle, et des plus importantes, des principes qui sont aujourd'hui reçus dans la science » (495).

En fait, la principale modification que le P. Carbonnelle apporte à cette théorie, en vue de mieux l'adapter aux découvertes modernes, consiste dans la distinction de deux sortes de matière : l'une la matière pondérable, l'autre la matière impondérable ou l'*éther*.

« L'atome pondérable, écrit-il, placé au sein de l'éther condense, par attraction, un certain nombre d'atomes éthérés qui désormais forment autour de lui comme une atmosphère. Entre deux atomes ainsi entourés une force intervient, composée 1° de leur action mutuelle, 2° des attractions que chacun d'eux exerce sur l'atmosphère de l'autre, 3° de la répulsion mutuelle des deux atmosphères. Si la distance est telle que cette dernière force soit inférieure à la somme des deux autres, les deux systèmes se rapprocheront, mais il arrivera nécessairement un moment où les deux atmosphères seront suffisamment voisines pour faire prédominer

---

(493) *Ibid.*, n. 107.

(494) *Ibid.*, n. 101.

(495) CARBONNELLE, *Les confins de la science et de la philosophie*, 3[e] édit., t. I, L. I, c. II, p. 91. Paris, Palmé.

la répulsion. A cette distance les deux systèmes forment une figure d'équilibre » (496).

Les atomes primitifs de ces deux espèces de matière sont des forces simples, des centres d'action inétendus.

Sans se prononcer ouvertement pour l'hypothèse qui rattache la formation des atomes pondérables à la condensation progressive d'une matière homogène, le savant Jésuite lui accorde cependant une réelle probabilité.

Il admet aussi avec Boscovich que le contact interatomique est impossible, et que par conséquent toutes les forces agissent à distance.

Enfin, « tous les phénomènes matériels, ajoute-t-il, se réduisent en dernière analyse à des mouvements mécaniques dont les mobiles sont des atomes de deux classes seulement, appelés pondérables ou impondérables suivant la loi qui les régit » (497).

189. Système de Hirn. — Le dynamisme du célèbre physicien français a une physionomie propre. Il est en quelque sorte la fusion en une seule théorie de deux systèmes : le dynamisme pur et l'atomisme dynamique.

Pour Hirn, les atomes chimiques sont de petites masses réellement étendues, douées d'un volume invariable mais ne possédant en elles-mêmes aucun principe d'activité.

En dehors de ces unités primitives absolument inertes, il existe dans le monde inorganique quatre espèces de forces : la pesanteur, la lumière, la chaleur et l'électricité.

Ce serait une erreur de croire que ces énergies constituent des modalités de la matière et ne trouvent qu'en elle leur point d'appui naturel. Elles ont au contraire une existence isolée et indépendante, si bien qu'on les rencontre partout dans l'espace infini, là où la matière fait défaut.

Principes intermédiaires, ces forces ont pour mission de maintenir les distances interatomiques, de déterminer les relations qui existent entre les parties d'un même corps, de présider aux phénomènes d'attraction, de répulsion, aux combinaisons chimiques, enfin à cette riche collection de faits dont la mécanique céleste, la physique mécanique et la chimie se sont partagé l'étude (498).

De plus, à l'exception de la pesanteur, chacune de ces forces est susceptible d'un mouvement spécifique qui se produit toutes les fois qu'elles passent à un nouvel état d'équilibre. Lorsque ce mouvement se réalise entre deux corps distincts, il révèle à l'un

---

(496) Carbonnelle *Les confins de la science et de la philosophie,* c. II, p. 151.

(497) *Ouv. cit.,* c. II, p. 99.

(498) Hirn, *Analyse élémentaire de l'univers,* sixième esquisse, pp. 133 et suiv. Paris, Gauthier, 1868.

l'existence de l'autre : tel le cas de la photographie. A ce titre, ces trois forces portent encore le nom de *principes révélateurs* (499).

190. Système du P. Palmieri. — Avec la généralité des dynamistes, le P. Palmieri ne voit dans la matière inanimée que des forces simples, réellement indivisibles et isolément subsistantes.

Il s'écarte cependant des autres opinions en deux points essentiels qui assurent à son système une place spéciale dans l'histoire du dynamisme, et le mettent en même temps à l'abri de plusieurs critiques fondamentales auxquelles les autres systèmes prêtent naturellement le flanc.

1° On connaît l'ingénieuse hypothèse par laquelle le P. Palmieri essaie de concilier l'unité des composés avec la persistance actuelle des composants. Pour que deux êtres, dit-il, participent à une commune unité, sans perdre toutefois leur individualité respective, il suffit qu'une union étroite s'établisse entre leurs principes fonciers d'activité, de manière que des actions nouvelles jaillissent de ce couple comme d'une cause vraiment une. Ils formeront de la sorte une nature nouvelle et par suite un être nouveau, celui du composé, où cependant se retrouvent intactes les diverses substances composantes (500).

2° A l'effet de justifier notre croyance à la perception de l'étendue, le savant auteur recourt à une autre hypothèse non moins séduisante.

Sans doute, les atomes élémentaires sont simples et absolument indivisibles. Mais ils découpent chacun un volume déterminé dans l'extension spatiale, en ce sens que, par leur force de résistance, ils rendent impénétrable la sphère d'action dans laquelle ils existent. L'atome se trouve donc tout entier dans la portion d'espace qui lui est propre, et tout entier dans chacune de ses parties. Son extension est ainsi *virtuelle*.

De la sorte, rien ne s'oppose à ce que les êtres se touchent sans se confondre, et que toute action se produise uniquement au contact.

Notons encore que dans ce système, tout élément primordial est pourvu de trois propriétés essentielles : l'étendue virtuelle, la force de résistance et la force restrictive.

191. Conclusions générales. — Sous les formes variées du dynamisme, on ne découvre qu'un petit nombre de propositions qui puissent être considérées comme la trame essentielle de ce système cosmologique :

1° Il n'existe dans l'univers que des éléments ou groupes d'éléments simples, *réellement* inétendus (501).

---

(499) *Ouv. cit.*, p. 135.

(500) PALMIERI, *Institutiones philosophicae*, c. II, t. XVI. Romae, 1875.

(501) En tant que dynamiste, Hirn partage aussi cette opinion. Mais

2° La force constitue toute leur essence (502).

3° La plupart des dynamistes sont partisans de l'action à distance. Plusieurs cependant, tels Leibniz et le P. Palmieri, la rejettent.

4° Enfin, les phénomènes, quelle que soit d'ailleurs leur diversité, résultent du conflit des forces élémentaires et ne sont en réalité que des modes de mouvement.

---

pour les atomes chimiques, il fait exception à la règle générale et souscrit au mécanisme ordinaire.

(502) Comme on a pu le remarquer, les dynamistes sont loin de s'entendre sur la nature et le nombre des forces primordiales. Actuellement, il y a, chez les physiciens, une tendance à supprimer toute distinction spécifique et à n'admettre dans les atomes que deux forces, l'une attractive, l'autre répulsive.

ARTICLE II

Critique du dynamisme.

Première proposition : il y a de l'étendue formelle dans le monde de la matière.

192. Première preuve, tirée du témoignage de la conscience. — En général, les dynamistes reconnaissent, qu'au moins dans le domaine de la sensation, les corps nous apparaissent comme des réalités répandues dans l'espace, affectées d'étendue. Cette extension phénoménale ou subjective est d'ailleurs un fait tellement évident qu'il s'impose à la conscience de tout homme, et persiste avec son caractère distinctif, même sous le regard de la réflexion.

Or, nous avons le droit et le devoir d'ajouter foi au témoignage des sens, de voir dans les représentations sensibles des copies du monde externe, aussi longtemps que la métaphysique ou les sciences n'en établissent point l'inexactitude ou la fausseté par des preuves péremptoires. Car nos puissances organiques, qui nous mettent directement en relation avec le milieu ambiant, sont des puissances passives dont les réactions vitales se mesurent exactement aux influences reçues, lorsqu'elles se trouvent dans les conditions normales d'exercice.

L'étendue phénoménale est donc un effet interne auquel doit correspondre une cause externe proportionnée.

Or, nous le montrerons bientôt, aucune des difficultés soulevées par le dynamisme n'est capable d'infirmer l'objectivité réelle de ces données sensibles (503).

Il y a plus. Dans l'hypothèse dynamiste, la perception d'une étendue, même purement phénoménale, est une anomalie inexplicable.

Quelle en serait en effet la cause ? Les sens ? Mais si la théorie est vraie, ils sont, eux aussi, constitués d'éléments inétendus qui ne possèdent, ni formellement, ni à l'état embryonnaire, les parties intégrantes de l'extension continue.

Est-ce peut-être l'influence combinée des agents externes ? Ici encore on ne rencontre que des principes simples dont les actions inétendues se confondent en un point indivisible dès qu'elles se touchent.

---

(503) Cfr. A. LEHMEN, S. J., *Lehrbuch der Philosophie auf aristotelisch-scholastischer Grundlage.* II. B., I. Abteilung : *Kosmologie und Psychologie*, S. 28. Freiburg im Breisgau, Herder, 1911.

Impossible par conséquent de rattacher ce phénomène à une cause réelle, soit en nous, soit en dehors de nous (504).

193. Objection. — Il résulte de nombreuses expériences qu'aucun corps de la nature ne jouit d'une réelle continuité. Les masses les plus compactes contiennent des pores, en nombre parfois considérable relativement au volume des atomes et des molécules. Partout où nous croyons découvrir de la matière occupant un espace sans vide ni séparation, il existe en réalité une multitude actuelle d'individualités indépendantes, dont l'ensemble paraît continu, précisément à cause de leur multiplicité et de leur petitesse.

L'illusion des sens est manifeste, l'étendue des corps est apparente (505).

A notre avis, le fait mentionné ne soulève aucun doute ; mais la conclusion dépasse les prémisses.

Dans le monde minéral, la vraie continuité n'appartient qu'aux atomes des corps simples et aux molécules des corps composés, en sorte que toute masse sensible est un agglomérat de particules, dans lequel on conçoit sans peine des vides apparents, comblés par l'air ou l'éther invisible.

Nos sens, incapables de percevoir les joints et les petits intervalles qui brisent l'extension des corps naturels, sont donc imparfaits. Néanmoins, cette imperfection ne diminue en rien l'objectivité réelle de la perception de l'étendue puisqu'en somme tous les agents externes, masses atomiques ou moléculaires, jouissent réellement de cette propriété (506).

L'effet global produit dans nos organes sensoriels reçoit ainsi dans la théorie du continu une explication complète. La représentation subjective du continu a sa cause réelle : c'est l'influence de particules, douées chacune d'extension continue. D'autre

---

(504) M. Lechalas est aussi un adversaire décidé du continu. Cfr. son *Etude sur l'espace et le temps,* notamment le c. VIII : Critique de l'infini et du continu. Paris, Alcan, 1910.

(505) Voir sur la réalité du continu un excellent article de l'abbé DE BROGLIE, *Atomisme et Dynamisme (Annales de philosophie chrétienne,* mai et juillet 1885).

A lire aussi une savante discussion sur le même sujet de l'abbé FARGES : *L'idée du continu dans l'espace et le temps :* « Nature de la quantité », pp. 105 et suiv. Paris, Roger.

« Mais, si ces centres de force, écrit Rougier, sont des points mathématiques dans l'espace, comment imaginer qu'une force puisse s'y appliquer pour les repousser, ou s'y accrocher pour les attirer ? Comment ces êtres de raison pourront-ils résister au mouvement, manifester une inertie ? » ROUGIER, *La matière et l'énergie,* Paris, Gauthier-Villars, 1921. — Aucun assemblage de centres de forces, ajoute Maxwell, quelque compliqué qu'il soit, ne peut expliquer ce fait, aucun rudiment de masse ne peut provenir de l'existence de ces centres de forces hypothétiques. » MAXWELL, *La chaleur,* pp. 111-112. Paris, 1891.

(506) Cfr. MIELLE, *De substantiae corporalis vi et ratione. — De objectivitate quantitatis continuae,* pp. 274 et suiv. Lingonis, Rallet, 1894.

part, l'absence des divisions que comporte la réalité a sa raison d'être dans les limites imposées par la nature à la sensibilité de nos puissances organiques.

194. Deuxième preuve, tirée de l'unité. — La doctrine dynamique porte un coup fatal à l'unité des êtres supérieurs.

Entre les milliers d'atomes inétendus qui concourent à la constitution des individus de l'ordre végétatif et sensible, il n'y a que deux sortes de relations spatiales possibles : ou bien les relations de contact, ou bien les relations de distance. Or les deux hypothèses sont incompatibles avec l'individualité organique.

Admet-on le contact, alors tous les indivisibles se fondent en un point mathématique, et le corps vivant disparaît de l'espace : deux indivisibles en contact coïncident suivant la totalité de leur être. De plus, chaque élément simple, étant réfractaire à toute transformation, garderait encore sa subsistance propre.

Les atomes, au contraire, se tiennent-ils à distance, alors il est clair que pareil assemblage contient une collection d'individus complètement étrangers les uns aux autres, privés même de toute communication, à moins qu'on ne suppose la possibilité de l'action à travers le vide, hypothèse physiquement irréalisable.

195. Que penser de l'« étendue virtuelle » ? — La théorie du P. Palmieri et des dynamistes qui avec lui souscrivent à l'*étendue virtuelle*, échappe à la plupart des critiques émises jusqu'ici.

Doué de cette sorte d'étendue, l'atome, malgré son indivisibilité absolue, n'est plus une entité dépourvue de tout volume réel. Il occupe un espace déterminé, et dans chacune des parties de cet espace il réside tout entier, défendant par sa force de résistance l'inviolabilité de son département spatial. Or semblables atomes peuvent se toucher sans se confondre, déterminer dans nos organes la perception d'une étendue apparente, remplir en partie le rôle que nous assignons au continu formel.

Cependant, à côté de ces écueils où les autres formes du dynamisme ont échoué, il en est d'autres auxquels doit fatalement se heurter cette conception nouvelle.

D'abord, comme dans les autres systèmes, l'unité essentielle devient le privilège des masses atomiques, et les efforts tentés par le savant Jésuite pour concilier l'indéniable unité des êtres vivants avec la complexité de leurs éléments constitutifs intransformables, ont été incapables de lever la contradiction réelle de cette hypothèse.

En second lieu, et ce n'est pas le moindre reproche que nous ayons à leur faire, les palmiéristes suppriment logiquement toute distinction essentielle entre le monde des esprits et le monde de la matière en accordant à tous les êtres un même mode d'existence.

Il n'y a plus de différence à établir, en effet, au point de

vue de la perfection subsistentielle, entre l'âme humaine et l'atome chimique, si l'une et l'autre ont la propriété naturelle de s'approprier un espace déterminé, et de résider dans chacune de ses parties avec l'intégralité de leur substance. Notre âme, dans son état d'union avec le corps, n'a évidemment d'autre mode de présence.

C'en serait donc fait de la prérogative de la spiritualité que nous attribuons à l'âme, et qui est tout à la fois la raison dernière du caractère distinctif de nos pensées et de nos volitions, le fondement de la réflexion, la garantie de notre immortalité. Ou tout au moins, nul ne comprendra pourquoi les corps seraient privés des manifestations de la vie intellective ou raisonnable, attendu que, suivant l'adage *operatio sequitur esse,* les mêmes natures se révèlent par les mêmes activités.

Sous ce rapport, pour avoir attribué aux monades la perception et l'appétition, Leibniz fut, sans contredit, le plus conséquent des dynamistes.

196. Arguments des dynamistes contre l'étendue réelle. — L'objectivité de l'étendue est une des doctrines qui ont été combattues avec le plus de vigueur et par les voies les plus diverses. On peut s'en faire une idée en parcourant les nombreuses objections qui seront discutées plus tard au cours de l'étude de cette propriété (507).

Qu'il nous suffise d'examiner actuellement une difficulté, qui tient au cœur même du dynamisme.

La force, écrit Magy, est une réalité absolument simple ; l'étendue, au contraire, possède une triple dimension et se soumet à un fractionnement indéfini. La force est essentiellement active, l'étendue est synonyme de passivité, de complète inertie. « Ou le plus évident des axiomes, que les contradictoires ne peuvent exister dans un même sujet, est ici en défaut : ou on est contraint de reconnaître qu'au point de vue métaphysique, la force et l'étendue ne peuvent être attribuées l'une et l'autre aux objets de l'expérience avec une certitude égale ou univoque : c'est-à-dire que, si l'une d'elles, par exemple la force, est une propriété intrinsèque des êtres... l'étendue au contraire n'en est qu'une propriété apparente »(508).

Le défaut de cette argumentation consiste à faire de l'étendue et de la force deux réalités opposées, ou mieux exclusives l'une de l'autre, alors qu'elles sont simplement de nature différente.

La force, dit-on, est « une réalité absolument simple ».

Première assertion gratuite, démentie par l'expérience !

---

(507) Cfr. D. Nys, *Cosmologie,* t. II. § Etude spéciale des propriétés. La quantité.

(508) Magy, *De la science et de la nature,* p. 191.

Le concept de force nous représente uniquement *un pouvoir d'action,* une énergie capable de produire certains effets ; mais, comme tel, il ne nous révèle point le mode d'être naturel suivant lequel ce pouvoir se trouve réalisé. Que la force existe normalement sous forme d'un point mathématique, qu'elle occupe une portion déterminée de l'espace, son concept n'en est pas moins étranger à toutes ces relations spatiales ; il en fait abstraction.

De là cette aptitude réelle qu'il possède, soit à désigner des énergies réellement étendues, telles les forces physiques et mécaniques, soit à exprimer des forces d'une nature éminemment simple, telles l'intelligence et la volonté.

Supposer la simplicité réelle et absolue de toutes les forces existantes, et cela, sans sortir de l'analyse du concept, c'est y introduire une note qui n'y est point contenue et exclure, sans raison, de ces éléments réalisés, un mode d'existence qui peut leur être tout à fait naturel.

Quand on veut trancher la question de fait, il faut donc consulter les phénomènes, recourir à l'expérience. Or, les dynamistes sont forcés de le reconnaître, toutes les activités corporelles se manifestent à nous comme si elles étaient réellement étendues (509).

Quant à l'étendue, son rôle essentiel est de répandre dans l'espace tout ce qu'elle affecte, quelle que soit d'ailleurs la *nature* de la chose localisée. D'elle-même, elle ne renferme aucun principe dynamique, mais elle est indifférente à l'égard du caractère passif ou actif des substrats matériels où elle est reçue. C'est pourquoi les énergies corporelles aussi bien que la quantité inerte peuvent en être les sujets appropriés.

La force et l'étendue sont donc des réalités distinctes, parfaitement compatibles entre elles.

Deuxième proposition : l'essence du corps ne consiste pas uniquement dans une force, ou dans un ensemble de forces actives ; elle implique un élément passif.

Cette proposition, antithèse du dynamisme, constitue une des données essentielles du thomisme. En harmonie avec les considérations émises plus haut sur la nature et l'existence de l'étendue,

(509) « L'étendue, dit Balmès, comprend deux choses : la multiplicité et la continuité.

» Nous pouvons admettre que les points inétendus produisent la première, mais il s'agit de définir la continuité, phénomène que l'*intuition sensible* nous présente, avec une évidence irrésistible, comme la base des représentations de l'imagination. » Balmès, *Philosophie fondamentale,* t. II, l. 3, c. 24, p. 97 .Liége, Lardinois, 1853.

elle s'appuie en outre sur les arguments qui seront invoqués ailleurs en faveur de l'hylémorphisme (510).

En somme, toutes les difficulués soulevées contre elle se résument en une seule. Examinons-la.

197. Objection du dynamisme. — « Nous ne connaissons les corps que par les actions qu'ils exercent sur nos organes. » Tout autre aspect, toute propriété incapable de nous impressionner nous sont totalement inconnus. Les corps se manifestent donc, et d'une manière exclusive, comme des principes d'activité (511).

Tel est le fait auquel tous les dynamistes anciens et modernes attachent une importance primordiale.

198. Critique. — Pour arriver à la science de la matière, l'homme dispose de deux moyens : les sens d'une part, l'intelligence de l'autre. Les connaissances obtenues par la première voie sont immédiates ; c'est le produit brut des agents externes, unifié et synthétisé par le sens commun. Les autres sont le fruit d'un raisonnement, basé sur les éléments fournis par la sensibilité, susceptible par conséquent de s'étendre à des réalités, laissées dans l'ombre par la sensation.

Or, est-il vrai que ces deux sortes de facultés donnent gain de cause au dynamisme ?

Que trouvons-nous dans les données sensibles ? Des phénomènes, dus à l'action du milieu ambiant, doués tous d'une étendue réelle. Que faut-il en conclure, sinon que les corps nous influencent par des forces *répandues dans l'espace ?*

L'étendue, dira-t-on, jouit-elle d'un pouvoir dynamique ?

Non sans doute, et ce caractère distinctif prouve combien les dynamistes ont tort de bannir de la nature tout ce qui n'est point force. Dépourvue, par elle-même, de toute énergie réelle, elle est néanmoins inhérente à tous les pouvoirs d'action, si bien que toutes nos forces matérielles, sans exception, se trouvent dans l'impossibilité physique de produire un effet privé de cette propriété. Nier cette liaison reviendrait à dire qu'une force corporelle naturellement étendue peut, en agissant, se dépouiller

---

(510) Cfr. D. Nys, *Cosmologie*, t. II, c. IV. *Preuves de la théorie scolastique.*

(511) Ubaghs, *Du dynamisme*, 2e éd., p. 24. Louvain, 1861. — Cfr. Ostwald, *Vorlesungen über Naturphilosophie*, S. 146. Leipzig, 1902. « Was findet sich, dit-il, am allgemeinsten in den Dingen der Aussenwelt, was ist also die allgemeinste Substanz ? und : Wodurch unterscheiden wir die Dinge der Aussenwelt von einander, also (im bestimmenden Sinne) was ist das allgemeinste Accidenz ?

» Die Antwort auf beide Fragen ist nach dem Stande des heutigen Wissens in einem Worte zu geben, in dem Worte : *die Energie.*

» Die Energie ist die allgemeinste Substanz, denn sie ist das Vorhandene in Zeit und Raum, und sie ist das allgemeinste Accidenz, denn sie ist das Unterschiedliche in Zeit und Raum. »

des conditions essentielles de son existence, se transformer en un élément simple.

La force agit donc, non par l'étendue, mais par sa nature dynamique étendue.

Cela posé, si les dynamistes se croient autorisés à déduire du fait de l'activité des corps, l'existence de substances actives, nous avons le même droit d'inférer de l'étendue, principe de passivité et d'inertie, la présence dans le corps d'un second élément constitutif, intimement uni au premier, mais essentiellement passif.

En second lieu, la passivité de la matière est pour nous tout aussi manifeste que son activité.

De même que nous subissons l'influence des causes externes, ainsi les corps de l'univers sont à l'égard l'un de l'autre dans les relations d'agent et de patient. Aucun n'agit sans qu'un autre reçoive son action, et tandis que le corps influencé réagit contre son moteur, celui-ci change de rôle, et à son tour devient passif.

Enfin, voulons-nous sortir du domaine de la sensibilité où les faits se concilient si aisément avec la supposition de l'étendue réelle, faire appel à l'analyse de l'ordre cosmique, élaborée par l'intelligence, alors la probabilité de la conception dualiste de la matière paraît se changer en certitude.

Troisième proposition :
L'action à distance est physiquement impossible.

199. Sens de cette proposition. — Distance est ici synomyme de vide absolu, et la question qui se pose est de savoir si des corps, séparés l'un de l'autre par un intervalle vide de toute réalité, peuvent exercer l'un sur l'autre une influence réelle.

Ce problème se prête à une double interprétation :

1° L'action à distance n'est-elle pas en opposition avec certaines lois du monde de la matière ? En d'autres termes, est-elle *physiquement* possible ?

2° Supposé que le contact immédiat soit, pour tous nos agents matériels, une condition indispensable d'action, au moins ne serait-il pas au pouvoir du Créateur de l'éliminer ? Ce qui revient à se demander si l'action à distance n'est pas *métaphysiquement* possible.

Selon nous, des faits irrécusables établissent l'impossibilité physique de pareille activité. Mais jusqu'ici on n'a donné aucune preuve péremptoire de son impossibilité métaphysique.

200. Les arguments « a priori », tendant à prouver l'impossibilité absolue de l'action à distance, paraissent insuffisants. — Sur le terrain de la métaphysique, la question s'énonce de la ma-

nière suivante : Le concept d' « activité transitive » implique-t-il nécessairement la notion de contact immédiat ? (512).

Or l'analyse complète de ce concept ne nous autorise point à trancher cette question.

Que suppose cette sorte d'activité ? Un agent dans lequel réside la force active et d'où émane l'influence causale. Un patient qui la reçoit. Et entre l'effet et sa cause, une relation de proportionnalité exprimée par le principe de causalité.

Comme l'action n'est pas immanente, mais transitive, l'*effet* se réalise tout entier dans un sujet récepteur, distinct de l'agent, naturellement situé dans l'espace en dehors de lui.

Quant à la *force* mise en jeu, nous ne pouvons la concevoir ailleurs que dans l'être agissant. Car si elle est accidentelle, elle dépend intrinsèquement de son sujet d'inhérence. Si elle est substantielle, elle s'identifie avec lui.

Il y a encore, objectera-t-on peut-être, le passage de l'action de l'agent au patient !

De quel transfert s'agit-il ? Le terme produit existe-t-il jamais en dehors du patient ? La cause efficiente ne se modifie point en agissant, et ne fait passer dans le sujet récepteur aucune réalité accidentelle dont elle aurait été elle-même la dépositaire. Autrement, toute activité efficiente se réduirait à un simple déplacement de réalités préexistantes, à une migration d'accidents. Ou, tout au moins, cette activité serait toujours immanente, car l'agent lui-même en retirerait les premiers bénéfices.

Il ne se fait donc aucun transfert, aucun passage : l'effet *naît* et se consomme tout entier dans le sujet, dépendamment d'une cause externe qui, elle, ne subit aucune modification du chef de son action (513).

Or, dans cette analyse, nous n'avons découvert, comme condition essentielle d'activité, ni le contact, ni la distance ; et, à bon droit, l'on se demande en vertu de quel principe analytique on ferait intervenir l'une ou l'autre de ces conditions.

A la lumière de ces données, il est facile de montrer que tous les arguments *a priori* reposent sur une fausse conception de l'activité, ou ne sont que des pétitions de principe.

Premier argument. — D'évidence, l'être agit là où il est. Or

(512) S. Thomas paraît admettre l'impossibilité métaphysique de l'action à distance. « Oportet enim, dit-il, omne agens conjungi ei in quod immediate agit, et sua virtute illud contingere. » « Dicendum quod nullius agentis, quantumcumque virtuosi, actio procedit ad aliquid distans, nisi in quantum in illud per medium agit ». *Summa theol.*, I[a] P., q. 8, a. 1. — Ailleurs il dit encore : « Nullum corpus agit nisi tangendo et movendo. » *Summa theol.*, I[a] P., q. 45, a. 5.

(513) Les altérations de la cause efficiente sont toujours le résultat de la réaction qu'exerce le patient sur le moteur.

l'hypothèse de l'action à distance est la négation formelle de cette vérité.

Distinguons d'abord le double sens du terme « agir ». Si le corps agit à distance, l'action, c'est-à-dire la force active, ou l'action considérée dans son principe, sera là où n'est point le corps, *nego :* cette force est inséparable de son sujet. — L'action, c'est-à-dire l'effet réalisé sous l'influence de la cause, sera en dehors de l'agent, *concedo.* Et cela est vrai pour toute théorie, sinon, toute action serait immanente, resterait dans le sujet qui la produit.

Enfin, veut-on signifier par là que l'agent doit être en contact immédiat avec le terme de son activité ? On affirme alors gratuitement ce qui est en question.

Deuxième argument. — L'action à distance est possible, à la condition que l'effet se transmette à travers le vide de l'agent au patient. Or semblable supposition est une absurdité.

A notre connaissance, nul dynamiste moderne n'a commis cette grossière erreur. Les partisans de ce système éprouvent d'autant moins le besoin de l'admettre, que ce prétendu transfert est un pur produit de l'imagination. L'effet apparaît dans son sujet récepteur, et pas ailleurs. Il n'a à traverser ni le vide ni le plein.

Les adversaires de l'action à distance confessent à l'unanimité que toute action des causes secondes dépend essentiellement pour se produire, d'un sujet récepteur, qu'elle naît donc dans ce sujet et s'y consomme. A aucun moment, ils ne supposent cette action en dehors du patient. Pourquoi donc, dans le cas présent, abandonnent-ils leur principe d'ailleurs indiscutable, pour supposer l'action produite dans le vide et transmise ensuite au patient ?

On dira peut-être : cette supposition s'impose, puisque la distance empêche le patient de recevoir immédiatement l'effet.

Mais n'est-ce pas tout juste ce qui est en question ? (514). Un agent peut-il influencer directement, immédiatement un patient qui, en fait, est éloigné de lui ? Voilà le problème à résoudre.

Troisième argument. — L'agent, pour altérer le patient, doit

---

(514) Cette « pétition de principe » est très commune. Elle se retrouve, croyons-nous, dans le principal argument invoqué par le P. Pesch en faveur de la thèse antagoniste « Si l'action qui procède de l'agent, dit-il, n'avait pas son terme dans une chose présente, elle l'aurait dans le néant : en effet, relativement au lieu où elle n'est pas, une chose est comparable au néant. » Cfr. PESCH, *Institutiones philosophiæ naturalis,* vol. I, p. 76. Friburgi Brisgoviæ, Herder, 1897.

La réplique, nous semble-t-il, est facile. Les partisans de l'action à distance pourraient se contenter de répondre : le terme d'une activité transitive doit toujours se trouver en dehors de l'agent. Qui nous prouve, qu'à défaut de contact immédiat, ce terme tomberait dans le vide absolu ?

exercer sur lui son influence. Or, cela ne se conçoit pas sans contact immédiat.

La majeure de cet argument est indiscutable et admise par tout le monde. La conclusion est le point en litige. Affirmer, n'est point prouver.

201. L'hypothèse de l'action à distance est contredite par l'expérience. — Toutes les forces corporelles sont régies par une loi d'une application constante, et que voici : L'intensité de l'action qu'un corps exerce sur un autre, diminue à mesure que la distance augmente ; elle s'accroît au contraire à mesure que la distance diminue (515).

Or, ce fait est inexplicable dans l'hypothèse de l'action à distance, entendue au sens rigoureux du terme.

Sans altérer les dispositions internes de l'agent et du patient, faisons varier l'intervalle qui les sépare. Au reste, le vide, grand ou petit, n'étant rien, ne peut les modifier.

Considérée dans l'agent, l'action va revétir une intensité invariable et indépendante de la distance, car les êtres matériels dépourvus de liberté ne changent point, à leur gré, la mesure de leur activité.

Considérée dans le patient, où rien n'est modifié, elle se présente avec le degré d'intensité qu'elle avait au sortir de l'agent. S'il y avait un changement, le milieu seul en serait la cause. Mais le vide n'a pas d'influence, et de plus, l'action, n'ayant pas à le parcourir, puisqu'elle est produite directement dans le sujet récepteur, ne court aucun risque de se disséminer dans l'espace (516).

Les variations de l'intensité, attestées par l'expérience, demeurent donc des effets sans cause, à moins de substituer au vide hypothétique la matière continue, soit pondérable soit impondérable. Alors, seulement, l'amoindrissement progressif de l'action relèvera d'une cause appropriée, à savoir, les résistances croissantes du milieu réel (517).

---

(515) En règle générale, elle est en raison inverse du carré des distances.

(516) Cfr. P. DE SAN, *Cosmologia*, pp. 353 et suiv. Lovanii, Fonteyn, 1881.

(517) Plusieurs auteurs croient pouvoir invoquer à l'appui de cette doctrine un fait de constatation directe. On remarque, dit-on, que partout et toujours les corps ont besoin d'un milieu approprié pour transmettre leur action à d'autres corps éloignés, en sorte que cette action ne se produit pas si le milieu fait défaut. De ce fait universel et constant, il est permis de conclure que tel doit être aussi le mode d'action des corps qui n'ont pas encore été soumis à l'observation. Donc etc... (*).

La validité de cet argument serait incontestable, si on pouvait prouver la majeure. Mais en est-il ainsi ? Les faits observés sont-ils assez nombreux

---

(*) P. SCHAAF, *Institutiones cosmologiae*, p. 144, Romae, 1907.

202. Accord de cette opinion avec les sciences modernes. — L'hypothèse d'après laquelle tout échange d'activité se fait au contact, est confirmée par les théories physiques modernes. La théorie électromagnétique qui domine actuellement les sciences naturelles, admet, en effet, que les phénomènes électriques et magnétiques se transmettent de proche en proche par l'intermédiaire de l'éther.

« La première différence entre la dynamique électromagnétique et la dynamique classique, écrit M. Langevin, a donc pour raison profonde la vitesse finie de propagation des perturbations dans le milieu, le fait, que la modification du sillage exigée par tout changement de vitesse de la particule, se propage de proche en proche à partir de celle-ci, que l'inertie de la matière n'est pas un phénomène instantané... On voit, ajoute-t-il, combien lointaines et profondes apparaissent maintenant les conséquences de la révolution introduite par Faraday, lorsqu'il r jeta la notion d'action immédiate à distance et porta l'attention sur le rôle joué par le milieu » (518).

D'après cet auteur, l'hypothèse de l'influence réelle du milieu aurait même reçu récemment des confirmations importantes (519).

D'ailleurs, elle peut se réclamer du patronage de la généralité des physiciens et des chimistes actuels.

Pour Newton, Lavoisier, Sadi Carnot, Lord Kelvin (520),

---

pour légitimer une induction qui embrasse la totalité des activités corporelles ?

La gravitation s'exerce à travers les espaces interstellaires où, selon toute probabilité, ne se rencontre aucune matière pondérable.

Le soleil nous transmet sa lumière et sa chaleur malgré les millions de lieues qui séparent notre atmosphère de cet astre.

La découverte de la télégraphie sans fil, nous apprend que l'électricité peut exercer son influence à des distances énormes en parcourant des couches d'air qui, certainement, ne constituent pas un milieu continu.

Or, loin de confirmer l'induction, pareils faits nous semblent plutôt de nature à l'infirmer, ou même nous invitent à poser le problème de l'action à distance.

Mais l'éther, dira-t-on peut-être, n'est-il pas le milieu approprié à la propagation de ces phénomènes ?

Oui sans doute, l'éther est le milieu hypothétique, postulé par les physiciens pour éviter l'action à distance, mais ce n'est ni un fait constaté, ni même un fait constatable. Il serait donc illogique d'y appuyer l'induction scientifique en question.

A notre avis, cette doctrine ne peut se réclamer que d'un seul argument physique : c'est l'argument tiré du caractère des lois qui régissent les activités corporelles.

(518) LANGEVIN, *La dynamique électromagnétique (Les idées modernes sur la constitution de la matière.* Paris, Gauthier-Villars, 1913), p. 107. — Cfr. du même auteur, *L'évolution de l'espace et du temps (Revue de métaphysique et de morale,* juillet 1911), p. 459.

(519) BOUASSE, *Th. de la mécanique,* pp. 182-189.

(520) LORD KELVIN, *Conférences scientifiques,* pp. 212-214, 223, 333. Paris, Gauthier-Villars, 1893. — *Papers on Electrostatics,* p. 318. Londres,

Perrin (521), etc..., il n'y a point de vide dans l'univers ; l'éther le remplit partout sans y laisser aucun intervalle (522).

« C'est toujours à contre-cœur, écrit M. Meyerson, que la science a accepté l'action à distance, et ce n'est qu'à son corps défendant qu'elle la conserve. Elle y sera forcée tant qu'il demeurera entendu que les mouvements des corps célestes ne peuvent s'expliquer sans la supposition d'une action instantanée de la gravitation. Mais, dès que cette hypothèse ne sera plus absolument indispensable, dès qu'il sera permis d'attribuer à l'action gravifique une vitesse finie, il est bien certain que cette notion disparaîtra sans retour, car personne n'a jamais admis et l'on n'admettra probablement jamais un saut dans le temps analogue au saut dans l'espace que postule la notion d'action à distance » (523).

A en croire Langevin (524), le vœu du philosophe français serait bientôt réalisé, puisque l'hypothèse qui attribue une vitesse finie à la gravitation constitue déjà une conséquence nécessaire de la théorie physique régnante.

En fait, la théorie de la relativité n'admet pas de vitesse supérieure à la vitesse de la lumière dans le vide ; il n'y a donc pas d'action instantanée à distance. « C'est aussi la conclusion que Rougier tire de ce principe : Toute action instantanée à distanse, dit-il, devient désormais impossible. » (525).

« D'après la théorie de la rélativité générale, écrit Einstein, l'espace est doué de propriétés physiques ; dans ce sens par conséquent, un éther existe. Selon la théorie de la réalité générale, un espace sans éther est inconcevable, car non seulement la propagation de la lumière y serait impossible, il n'y aurait même

---

1872. L'hypothèse, dit-il, d'une action à distance « est le plus fantastique des paradoxes ».

(521) PERRIN, *Les atomes,* p. XV. Paris, Alcan, 1924. « Une matière indéfiniment discontinue, dit-il, trouant par des étoiles minuscules un éther continu, voilà donc l'idée qu'on pourrait se faire de l'univers. » — *Les principes,* passim. Paris, Gauthier-Villars, 1903. — Cfr. REY, *L'Energétique et le Mécanisme,* p. 141. Paris, Alcan, 1908.

(522) Cfr. DE LA VAISSIÈRE, *Philosophia naturalis,* p. 93. Paris, Beauchesne, 1912. « Il faut admettre, écrit G. Moch, l'attraction à distance, ou l'existence d'une substance intermédiaire. Il est curieux que des physiciens puissent nier à la fois l'une et l'autre sans avoir l'impression d'une contradiction ». MOCH. *La relativité des phénomènes,* p. 263. Paris, Flammarion, 1921.

(523) MEYERSON, *Identité et réalité,* p. 85. Paris, Alcan, 1912.

(524) LANGEVIN, *La dynamique électromagnétique (Les idées modernes sur la constitution de la matière.* Paris, Gauthier-Villars, 1913), p. 108.

(525) ROUGIER, *La matière et l'énergie,* p. 26. Paris, Gauthier-Villars, 1921. Il est à noter cependant que « la discontinuité de la matière semble être, à l'heure actuelle, universellement admise, alors que la continuité, conséquence des nivellements dus à la loi des grands nombres, paraît n'être qu'une apparence. » Cfr. BEAULARD DE LENAIZAN (*Revue générale des Sciences 30 janvier 1923,* p. 52).

aucune possibilité d'existence pour les règles de mesure et les horloges, et par conséquent aussi, pour les distances spatio-temporelles dans le sens de la physique. »

Il ajoute « Cet éther ne doit pas être conçu comme étant doué de la propriété qui caractérise les milieux pondéraux, c'est-à-dire comme constitué de parties pouvant être suivies dans le temps : la notion du mouvement ne doit pas lui être appliquée. » (526).

Cet éther einsteinien paraît bien abstrait ; dépourvu de propriétés mécaniques, dépouillé de son rôle traditionnel d'agent de transmission, on se demande quelle peut être encore son utilité ?

(526) EINSTEIN, *L'éther et la théorie de la relativité*, Gauthier-Villars, 1921, p. 15.

LIVRE VI

L'ENERGETISME

ARTICLE PREMIER.

Exposé de l'énergétisme.

203. La crise du mécanisme prépare l'avènement de la théorie énergétique. — Jusqu'en ces dernières années, le mécanisme traditionnel avait été le système préféré des hommes de science. Ramener tous les phénomènes naturels à des modalités du mouvement local, réduire tous les agents de la nature aux deux facteurs de masse et de mouvement, en un mot, supprimer, dans l'explication scientifique des faits, l'élément force ou qualitatif pour y substituer l'élément purement quantitatif : telles furent les aspirations communes à tous les grands réformateurs scientifiques qui inaugurèrent le XVII[e] siècle et aboutirent à la création de la Physique et de la Cosmologie cartésiennes. Tel fut l'idéal que se sont proposé la plupart des savants des deux derniers siècles. On ne compte plus les travaux entrepris dans le but d'établir l'unité essentielle de la matière et la réductibilité de toutes les forces physiques à des vibrations d'une matière pondérable ou impondérable.

Cependant, en 1895, au Congrès des naturalistes allemands tenu à Lubeck, le professeur Ostwald s'en prenait ouvertement à l'idole du jour, et annonçait la faillite prochaine du mécanisme, qu'il appelait « un matérialisme scientifique ».

« Je veux, disait-il, exprimer ici ma conviction que cette manière de voir, malgré son crédit, est insoutenable ; que cette théorie n'a pas atteint son but, car elle se trouve en contradiction avec des vérités tout à fait hors de doute et universellement acceptées. La conclusion s'impose ; il faut l'abandonner et la remplacer, autant que faire se peut, par une meilleure » (527).

Le mouvement de réaction, inauguré par le savant allemand, ne fit bientôt que s'accentuer. Parmi les physiciens qui furent les

(527) OSTWALD, *Die Ueberwindung des wissenschaftlichen Materialismus. — L'énergie*, p. 120 et passim. Paris, Alcan, 1910. — *Revista di Scienza*, t. I, p. 16 ; 1907. — BRUNHES, *La dégradation de l'énergie*, p. 290. Paris, Flammarion, 1908.

premiers à combattre résolument le mécanisme, il faut citer M. Duhem.

La physique, dit-il, doit s'élever avec énergie contre la première et la plus essentielle prétention du mécanisme, savoir, la réduction de toutes les propriétés des corps aux grandeurs, figures et mouvements locaux. Elle doit rendre aux qualités leur importance réelle et à la notion du mouvement toute la généralité que lui attribuait Aristote. La tâche de la physique nouvelle est de se débarrasser de ces multiples hypothèses mécaniques qui répugnent à la philosophie naturelle de Newton, de ces masses et de ces mouvements cachés qui échappent à tout contrôle et dont le seul objet est d'expliquer géométriquement les qualités. C'est après s'être délivré de ce labeur incertain, pénible et inutile que le physicien pourra en toute liberté consacrer ses efforts à des œuvres plus fécondes (528).

Ailleurs, le savant français devient encore plus tranchant, et déclare même que le mécanisme est en physique un faux idéal, que si parfois l'explication mécanique a pu mettre le physicien sur le chemin des découvertes, elle a été en réalité beaucoup moins féconde qu'on n'a coutume de le répéter, si bien que beaucoup de ces découvertes en sont absolument indépendantes (529).

Malgré ses sympathies pour le mécanisme, M. Picard reconnaît avec une réelle franchise, ses défauts et sa faiblesse : « Il faut toutefois reconnaître, dit-il, que dans plusieurs cas, les contradictions et les bizarreries de quelques théories ont amené une sorte de découragement, et que les savants d'aujourd'hui n'ont plus, à ce point de vue, l'enthousiasme des physiciens géomètres de la première moitié du siècle dernier. Il a pu même paraître à quelques-uns qu'il était étrange d'expliquer le connu par l'inconnu, le visible par l'invisible » (530).

D'autres savants, notamment M. Brunhes (531), voient dans le principe même de la dégradation de l'énergie, l'objection la plus grave qu'on puisse soulever contre la conception du mécanisme universel. Et de fait, si l'expérience établit que la *quantité* d'énergie se conserve intacte dans l'univers, elle prouve avec non moins de certitude que la *qualité* de l'énergie diminue, c'est-à-dire que l'énergie devient de moins en moins apte à produire de

---

(528) DUHEM, *L'évolution de la mécanique*, p. 344. Paris, Joannin, 1903.

(529) DUHEM, *La théorie physique, son objet et sa structure*, pp. 56, 57, et passim. Paris, Chevalier et Rivière, 1906.

(530) PICARD, *La science moderne et son état actuel*, p. 127. Paris, Flammarion, 1910.

(531) BRUNHES, *La dégradation de l'énergie*, p. 226. Paris, Flammarion, 1908.

nouveaux effets mécaniques. Où trouver place pour une distinction entre la quantité et la qualité dans un système qui bannit la qualité du domaine de la science ?

Telle est aussi la conclusion de L. Poincaré : « Le principe de Carnot, dit-il, conduirait donc à envisager un certain classement des énergies et nous montrerait que, dans les transformations possibles, ces énergies tendent toujours vers une sorte de diminution de qualité, vers une *dégradation.* Il réintroduirait ainsi un élément de différenciation dont il semble bien difficile de donner une explication mécanique « (532).

« L'opinion, écrit M. Mach, qui fait de la mécanique la base fondamentale de toutes les autres branches de la physique, et suivant laquelle tous les phénomènes physiques doivent recevoir une explication *mécanique* est, selon nous, un préjugé... La conception mécanique de la nature nous apparaît comme une hypothèse fort explicable historiquement, excusable et peut-être fort utile pour un temps, mais tout artificielle » (533).

Après avoir régné sans rival pendant plusieurs siècles dans le domaine des sciences, le mécanisme cartésien est donc tombé dans un discrédit dont il ne semble pas près de se relever malgré de nombreuses tentatives visant à le transformer (534).

Mais en même temps que s'accentuait la crise de l'ancien mécanisme, deux théories nouvelles se développaient rapidement sur le terrain des sciences physico-chimiques : le néo-mécanisme que nous avons examiné plus haut et l'*énergétique,* que plusieurs auteurs appellent aussi *énergétisme* (535).

Cette dernière théorie attira vivement l'attention du monde savant et suscita de chaudes sympathies. Bien qu'inaugurée déjà par Rankine, elle n'a pris une réelle importance que depuis une quinzaine d'années, en devenant la théorie préférée de plusieurs physiciens de marque.

A raison de son crédit actuel et de ses promesses d'avenir, il est utile, croyons-nous, d'exposer dans ses grandes lignes la théorie nouvelle et d'étudier ses rapports avec la cosmologie. Cependant, certaines conceptions énergétiques, d'un caractère plus particulariste, telles les théories de MM. Ostwald, Mach, Le Bon, etc., seront l'objet d'un examen spécial.

204. Définition de l'énergétique. — Qu'est-ce donc que l'énergétique ? En quoi cette théorie diffère-t-elle du mécanisme ?

---

(532) L. Poincaré, *La physique moderne, son évolution,* p. 82. Paris, Flammarion, 1909.

(533) Le Bon, *L'évolution des forces,* p. 36. Paris, Flammarion, 1908.

(534) Mach, *La mécanique,* pp. 465-466. Paris, Hermann, 1904.

(535) Du point de vue philosophique, cette seconde dénomination nous paraît plus heureuse que la première ; c'est pourquoi nous l'avons choisie comme titre de ce livre.

« On entend par énergétique, écrit M. Ostwald, le développement de cette idée que tous les phénomènes de la nature doivent être conçus et représentés comme des opérations effectuées sur les diverses énergies » (536).

Les changements dont le monde est le théâtre revêtent des formes multiples : la pierre qui tombe, la flamme qui pétille au foyer, le courant électrique qui actionne nos machines et l'éclair qui sillonne les nues, la puissance du fleuve qui brise ses digues, les affinités mystérieuses des corps chimiques qui, après être restées inertes pendant des siècles, peuvent, dans les conditions voulues, donner lieu à un déploiement considérable de chaleur, d'électricité, d'effets mécaniques, voilà sans doute des événements bien divers, en apparence même presque étrangers les uns aux autres. Cependant, à y regarder de près, on y retrouve toujours et partout, sous des aspects changeants et variés, un même contenu essentiel, un même élément fondamental, indestructible : l'énergie. La diversité n'affecte que la forme des phénomènes ; la réalité qui se diversifie et persiste à travers toutes les phases des changements, est toujours l'énergie.

L'univers entier, au moins dans la mesure et les limites où il se révèle à nous, n'est donc qu'un vaste complexus d'énergies, dont nous désignons les constituants sous les noms d'étendue, de volume, de forme, d'espace, d'électricité, de magnétisme, de mouvement, de pesanteur, de lumière, de chaleur, de matière, etc... Il n'est, en effet, aucune de ces réalités qui ne soit capable d'agir sur nous, de nous impressionner, de produire des phénomènes mécaniques, ou du moins de faire partie intégrante d'un pouvoir dynamique.

Telle est la conception que les énergétistes se font de l'univers, et c'est sous cet aspect qu'ils l'étudient, mais d'après un but et une méthode qui les distinguent totalement des mécanistes.

205. Différences entre l'énergétisme et le mécanisme. Première différence. — Le mécanisme cartésien, avons-nous dit, prétendait pénétrer jusqu'à la nature intime des êtres et en exprimer toute la richesse en la réduisant aux deux réalités de masse homogène et de mouvement local.

Si le néo-mécanisme se désintéresse de la substance, il voit aussi dans le mouvement local, l'élément figuratif auquel il cherche à réduire tous les autres phénomènes. Ainsi que le dit M. Rey, un de ses chauds partisans, le néo-mécanisme est une théorie essentiellement figurative ; elle cherche à se représenter le réel et n'a vraiment de sens qu'à la condition d'être une anticipation sur la réalité ; elle a donc la prétention de correspondre à des

---

(536) OSTWALD, *L'énergie*, p. 119. Paris, Alcan, 1910.

données de l'expérience et de prolonger notre perception dans les régions encore inconnues et non perceptibles (537).

A l'encontre du mécanisme cartésien, l'énergétique se résout à ne pas voir immédiatement le fond des choses ; elle ne cherche plus à enlever brusquement ses derniers voiles à la nature, à deviner ses suprêmes secrets (538).

Bien plus, elle s'interdit toute *explication* au sujet de l'essence des phénomènes, qu'elle prend tels qu'ils se présentent. Un caractère essentiel de la science nouvelle est de renoncer à toute hypothèse quelconque (539).

L'énergétique se préoccupe donc uniquement de la *mesure* des phénomènes et jamais de leur interprétation ; elle étudie les transformations de l'énergie et ne connaît les phénomènes que par leurs actions énergétiques. Elle mesure des quantités de chaleur, des champs magnétiques, des différences de tension électrique, des courants, etc., et recherche des relations numériques générales ou mathématiques entre ces grandeurs dont elle ne discute jamais la nature (540).

« Pour rester fidèles à la méthode qui a conduit les chercheurs les plus illustres à leurs grandes découvertes, dit M. Mach, nous devons limiter notre science physique à l'expression des *faits observables* sans construire des hypothèses *derrière* ces faits... Nous avons donc simplement à découvrir les dépendances réelles des mouvements de masses, des variations de la température, des variations de la valeur de la fonction potentielle, des variations chimiques, sans nous imaginer rien d'autre sous ces éléments, qui sont les caractéristiques physiques directement ou indirectement données par l'observation » (541).

En un mot, l'énrgétique est plutôt une méthode qu'une doctrine (542).

206. Deuxième différence. — Il existe entre le mécanisme et l'énergétisme une seconde différence non moins profonde.

Pour soumettre les phénomènes aux calculs mathématiques,

---

(537) Rey, *L'énergétique et le mécanisme*, p. 167. Paris, Alcan, 1908.

(538) L. Poincaré, *La physique moderne, son évolution*, p. 18. Paris, Flammarion, 1909.

(539) Ostwald, *l'énergie*, p. 133. Paris, Alcan, 1910

(540) Lebon, *L'évolution des forces*, p. 46. Paris, Flammarion, 1908. — Picard, *La science moderne et son état actuel*. Paris, Flammarion, 1910.

(541) Mach, *La mécanique*, p. 466. Paris, Hermann, 1904.

(542) Lebon, *L'évolution des forces*, p. 47. — Rey, *L'énergétique et le mécanisme*, p. 129. — *La philosophie moderne*, p. 156. Paris, Flammarion, 1911. « Cette théorie, dit-il, ne nous apprend rien sur la nature des énergies considérées, et par suite, sur la nature des phénomènes physico-chimiques. Elle nous décrit simplement aux dépens de quoi, comment et dans quel sens s'opère une modification physique ou chimique de l'état d'une corps donné... Les physiciens énergétistes prétendent qu'il est impossible d'aller plus loin. »

les mécanistes avaient établi en physique le règne de la quantité et en avaient banni tout élément qualitatif.

Les énergétistes, au contraire, plus soucieux des données de l'expérience, restituent aux diverses énergies leur caractère qualitatif et différentiel.

D'après M. Duhem, la mécanique nouvelle, en accordant aux qualités la large place qui leur est due en physique, se présente comme une réaction contre les idées atomistiques et cartésiennes, comme un retour — bien imprévu de ceux-là mêmes qui y ont le plus contribué — aux principes les plus profonds des doctrines péripatéticiennes. L'énergétique raisonne des qualités, mais afin de le faire avec précision, elle les figure par des symboles numériques, en sorte qu'elle est tout à la fois une théorie des qualités et une mathématique universelle (543).

M. Ostwald partage la même opinion et invoque, pour la justifier, un argument qui ne manque pas d'intérêt.

Tout le monde, dit-il, distingue aisément l'énergie électrique de la force vive, le travail de la lumière, l'énergie chimique de l'énergie calorifique. La raison en est que ces énergies exercent des actions différentes sur nos organes sensoriels, même lorsque ces organes sont considérés dans des états comparables. Or, se peut-il que ces énergies soient douées d'activités différentes, si elles sont de même nature ? « La science doit prendre à tâche de faire ressortir ces différences avec la plus grande netteté et la plus grande exactitude, ne fût-ce que pour obtenir une représentation juste des réalités » (544).

207. Troisième différence. — En troisième lieu, l'énergétique se distingue encore du mécanisme en ce qu'elle supprime le dualisme classique de la matière et de l'énergie. Telle est, au moins, l'opinion de certains énergétistes.

Pour bon nombre de partisans du mécanisme, la matière est inerte ; le mouvement dont elle est animée constitue la source de toutes ses activités ; pour d'autres systèmes, l'énergie de la matière se trouve canalisée en des qualités ou puissances actives et passives, inhérentes au substrat matériel, mais réellement distinctes de lui. En un mot, l'énergie et la matière sont considérées, sauf dans le dynamisme absolu, comme des réalités distinctes, et même si indépendantes l'une de l'autre que, pour un corps donné, l'énergie peut augmenter ou décroître sans que la quantité de matière subisse la moindre variation.

C'est ce dualisme que plusieurs énergétistes condamnent et rejettent sans réserve. Il n'y a dans l'univers, dit-on, qu'une seule

(543) DUHEM, *L'évolution de la mécanique*, pp. 344 et 345. Paris, Joannin, 1903.

(544) OSTWALD, *L'énergie*, p. 129. Paris, Alcan, 1910.

entité aux formes multiples, une seule réalité dont on peut mesurer les incessantes transformations, c'est l'énergie (545).

« En analysant la matière, écrit l'auteur de la théorie nouvelle, en en déterminant les parties composantes, nous sommes donc arrivés à voir qu'elle constitue une notion superflue » (546). La physique doit l'ignorer, car elle peut donner une représentation scientifique complète de tous les phénomènes cosmiques sans lui accorder aucune place dans ses calculs.

Qu'est-ce donc qui correspond, en théorie énergétique, à la vieille notion de matière ? D'ordinaire, dit-on, nous donnons le nom de matière à tout ce qui se révèle à nos sens comme un complexus de trois propriétés fondamentales, inséparables, toujours réunies dans le même espace, savoir : l'étendue, le poids et la masse, ou, comme on dit en physique, la quantité d'inertie ou de résistance au mouvement.

Or, ces trois propriétés sont précisément trois facteurs d'énergie dont le groupement est indispensable pour que les réalités de ce monde puissent constituer les objets de notre expérience.

En effet, si le volume ou l'étendue — qui est un vrai constitutif de l'énergie — vient à disparaître, le corps n'occupe plus d'espace et il nous est impossible de le percevoir encore.

En second lieu, si le corps n'a plus de masse, s'il n'oppose plus aucune résistance au mouvement, la plus petite impulsion mécanique lui communique une vitesse infinie ; pareil être échappe nécessairement à nos perceptions sensibles.

Enfin, il en serait de même s'il perdait son énergie de gravitation ou son poids. N'est-ce pas le poids qui retient les corps à la surface de la terre ou du moins dans son voisinage, et nous permet d'entrer en relation avec eux ?

Tel est donc le contenu intégral de la notion de matière. On

---

(545) Tous les énergétistes ne sont cependant point aussi radicaux. Bien que M. Duhem soit l'un des représentants les plus autorisés de la théorie énergétique, il admet l'existence de substrats matériels ou de substances corporelles qu'il conçoit même à la manière des scolastiques. Mais en physique, il en fait abstraction pour ne s'occuper que du fait observable ou expérimental. « Nous persisterons donc à admettre, dit-il, que tout mouvement suppose un mobile, que toute force vive est la force vive d'une matière. « Vous recevez un coup de bâton, nous dit M. Ostwald ; que ressentez-vous, le bâton ou l'énergie ? » Nous avouerons ressentir l'énergie du bâton, mais nous continuerons à conclure qu'il existe un bâton porteur de cette énergie. Nous n'oublierons pas d'ailleurs, que cette énergie, qui réside en certains lieux de l'espace, qui se transporte d'une région à une autre, ressemble singulièrement à une matière, qui aurait renié son nom, mais n'aurait pu changer d'essence. » P. DUHEM, *L'évolution de la mécanique (Revue générale des Sciences pures et appliquées,* mars 1903), p. 253.

(546) OSTWALD, *L'énergie,* p. 171. Paris, Alcan, 1910.

n'y trouve, on le voit, aucun élément qui ne soit une partie constitutive de l'énergie (547).

Pour M. Ostwald, il semble qu'il n'y ait qu'une seule substance dans le temps et dans l'espace, et cette substance est l'énergie.

La substance, dit-il, est ce qui existe. Or, la seule réalité existante pour nous, ce sont les phénomènes ou énergies diverses que nos sens peuvent percevoir. En dehors du domaine des réalités perceptibles, nous ne pouvons rien connaître. La *chose en soi,* qu'on désigne souvent sous le nom de matière, n'est rien. Nous ajoutons même, que l'accident est aussi l'énergie. L'accident est ce par quoi les choses se diversifient. Or, ce qui est diversifié n'est que de l'énergie, puisque toutes les formes diverses qu'elle peut revêtir sont des manifestations de la réalité énergétique (548).

La matière dont le savant allemand nie l'existence, est donc la matière considérée comme un substrat de ces trois propriétés que la physique nouvelle regarde comme autant de facteurs d'énergie, c'est-à-dire, le volume, le poids et la masse. Ces trois éléments énergétiques constituent dans leur union intime toute la réalité qui correspond à la notion de matière.

Loin de conclure à la non-existence de la matière, M. Lebon la proclame le principal élément des choses. Mais pour lui, elle n'est que de l'énergie ayant acquis de la fixité ; elle est même par sa dissociation l'origine de la plupart des forces de l'univers.

« La matière, dit-il, est une forme particulière d'énergie caractérisée par sa fixité relative et sa concentration en quantité immense sous un faible volume ». « La matière n'est en réalité que de l'énergie condensée ». « La transformation de la matière en énergie, réalisée dans nos expériences, a prouvé que l'antique dualité entre la force et la matière devait également disparaître ».

Il serait sans doute possible, ajoute l'auteur, à une intelligence supérieure d'imaginer l'énergie sans substance, car rien ne prouve qu'elle doive avoir nécessairement un support, mais une telle conception nous est inaccessible (549).

Ce physicien, on le voit, maintient le mot de matière, mais en change complètement le sens usuel.

M. Mach n'accorde guère plus d'importance à la matière que son collègue français. Il nie même formellement l'existence des substances.

---

(547) OSTWALD, *L'énergie,* pp. 163, 169. Paris, Alcan, 1910. — *L'évolution d'une science,* pp. 441 et suiv. Paris, Flammarion, 1909.

(548) OSTWALD, *Vorlesungen über Naturphilosophie,* pp. 146, 147. Leipzig, Veit und Comp., 1905.

(549) LEBON, *L'évolution des forces,* pp. 56, 87 et 91. Paris, Flammarion, 1908. — *L'évolution de la matière,* pp. 12-18 ; 309. Paris, Flammarion, 1912.

« Nous devons, dit-il, limiter notre science physique à l'expression des *faits observables*, sans construire des hypothèses *derrière* ces faits, où plus rien n'existe qui puisse être conçu ou prouvé » (550). Aussi le corps, pour lui, devient un ensemble relativement constant de sensations tactiles et visuelles, lié aux sensations d'espace et de temps (551). Et « la matière n'a plus d'autre fonction que de représenter la liaison entre les propriétés particulières parmi lesquelles il faut notamment citer la masse » (552).

Les propriétés corporelles, objet de l'énergétique, n'ont donc pas de substrat, mais nous concevons comme une sorte de substrat le lien fixe qui existe en fait entre les propriétés, comme si ces propriétés ne pouvaient s'unir entre elles directement sans l'intermédiaire ou le support commun qu'on appelle d'ordinaire la matière.

M. Mach est donc un phénoménaliste pour qui la « chose en soi » « est une notion vide et contradictoire ».

La « chose », dit-il encore, est un symbole mental pour un complexus de sensations d'une stabilité relative. Ce ne sont pas les choses (les objets, les corps), mais bien les couleurs, les sons, les pressions, les espaces, les durées (ce que nous appelons d'habitude des sensations), qui sont les véritables *éléments* du monde » (553). Ces sensations, nous les groupons en un tout complexe que nous nous représentons cependant par un seul concept, et cela en vertu de la loi de l'économie de la pensée qui régit toute notre activité intellectuelle. Le concept de « matière » ou de corps n'a pas d'autre origine, ni d'autre réalité (554).

L'univers entier peut donc s'exprimer synthétiquement en un mot : « énergie ».

208. Constitution de l'énergie. — Quelle est la constitution de l'énergie ? Quelles en sont les formes diverses ?

Toute énergie est constituée de deux facteurs, dont l'un s'appelle la *quantité*, l'autre l'*intensité* ou la *tension* (555). L'énergie est le produit de ces deux facteurs (556).

---

(550) MACH, *La mécanique*, p. 466. Paris, Hermann, 1904.
(551) ID., *ibid.*, pp. 478, 451.
(552) ID., *ibid.*, p. 292.
(553) ID., *ibid.*, p. 451.
(554) ID., *Analyse der Empfindung*, S. 10.
(555) AUERBACH, *Die Weltherrin und ihr Schatten, ein Vortrag über Energie und Entropie*. Iena, Fischer, 1902. — OSTWALD, *L'énergie*, Paris, Alcan, 1910.
(556) DRESSEL, *Lehrbuch der Physik*, p. 38. Freiburg, 1905. Ce physicien admet trois facteurs : « Wir finden, dass in den mechanischen Energien drei Faktoren massgebend sind : der Quantitätsfaktor, der die Quantität oder den Umfang des energetischen Zustandes misst, an welchen die Energie gebunden ist ; der Intensitätsfaktor, welcher angibt, wieviel Arbeitseinheiten die Einheit des energetischen Zustandes bei der gegebenen

Considérons, par exemple, l'étendue d'un corps ; elle comprend le volume et aussi la forme sous laquelle le corps se présente. Or, le volume et la forme sont des énergies véritables.

Pour diminuer ou augmenter le *volume* d'un corps, il faut dépenser du travail mécanique, et lorsque le corps reprend son volume antérieur, le travail absorbé est restitué. La *quantité* est ici représentée par la portion d'espace que le corps occupe ; l'intensité est la pression à laquelle le corps est soumis.

Ainsi en est-il de l'énergie de forme. Un corps de forme cylindrique peut revêtir une forme cubique, pyramidale ou rectangulaire sans changer de volume. Mais pour réaliser ce changement, il faut dépenser de l'énergie. Dans ce cas, le facteur de *quantité* doit être déterminé par des mesures spatiales en tenant compte des directions suivant lesquelles se font les déplacements. Le facteur d'*intensité* comprend les forces correspondantes mises en jeu pour triompher de l'énergie élastique du corps (557).

Pour la pesanteur, la quantité est représentée par des kilogrammes, et l'intensité ou la tension par la hauteur de chute. Leur produit exprime l'énergie gravifique.

Pour l'électricité, la quantité est représentée par le débit de la source en coulombs, et la tension par la pression électrique estimée en volts. Enfin, l'énergie cinétique résulte de la quantité qui est la masse, et d'une tension ou d'une intensité qui est le carré de la vitesse (558).

Bref, dans toute énergie, quelle qu'en soit la nature, se rencontrent ces deux facteurs, la quantité et l'intensité ou la tension. Toutefois, ces deux facteurs ne sont point deux principes distincts, mais deux aspects ou deux formes d'une même chose, l'énergie.

209. Les diverses formes de l'énergie. — Les énergies ainsi constituées se répartissent en deux grandes catégories : l'énergie potentielle et l'énergie actuelle. La première, qui porte aussi les noms d'énergie invisible, d'énergie en repos, d'énergie de position, d'énergie en réserve ou emmagasinée, comprend, par exemple, l'énergie du ressort bandé, ou d'un poids placé à une certaine hauteur, la pesanteur, l'affinité chimique ; ce sont autant d'énergies tranquilles. L'autre, qu'on désigne encore sous les noms d'énergie cinétique, d'énergie en mouvement, comprend l'énergie du

---

Intensität zu leisten vermag, und die Kapazität oder das Fassungsvermögen des materiellen Substrats für die betreffende Energieform, das bestimmt wird durch die Zustandsmenge bei der Intensität I. Bezeichnen wir diese Faktoren durch M. J. C. so gelten für die verschiedenen Formen der mechanischen Energie E die Grundgleichungen :

$$M = C.\ J.\ ;\ E = \tfrac{1}{2}\ M.\ J. = \tfrac{1}{2}\ C.\ J^2 = \tfrac{1}{2}\ M^2\ 1/c.$$

(557) OSTWALD, *L'énergie*, pp. 154-159. Paris, Alcan, 1910.

(558) LEBON, *L'évolution des forces*, pp. 49-53. Paris, Flammarion, 1908.

fleuve qui roule dans son lit ses eaux tumultueuses, l'énergie du vent et des marées, le courant électrique, l'énergie des corps lancés dans l'espace, etc.

Cependant, cette distinction paraît inadmissible à plusieurs auteurs. Les uns, notamment M. Ostwald, lui reprochent de ne pas être suffisamment objective. Parfois, en effet, il semble bien difficile de dire à laquelle de ces deux catégories appartient l'énergie. C'est le cas pour le courant électrique que l'on peut considérer indifféremment comme énergie potentielle et énergie actuelle (559).

En second lieu, cette distinction tire son origine de la conception mécanique de l'univers. D'après cette conception, tous les phénomènes naturels sont une sorte de décalque des phénomènes astronomiques. Si l'on ne rencontre dans ces derniers que deux formes d'énergie, nettement mécaniques : la force vive et la force de tension, l'énergie actuelle et l'énergie potentielle, on peut donc ranger dans ces deux catégories toutes les énergies de notre monde. Or, pour les énergétistes, cette réduction est une erreur, car à côté de l'énergie cinétique ou de mouvement, il en existe beaucoup d'autres de qualité différente et irréductibles au mouvement local.

D'ailleurs, l'énergie de tension n'est pas moins actuelle que l'autre ; sinon, comment serait-elle transformable ? Si on la dit potentielle, c'est uniquement par rapport à une autre forme d'énergie en laquelle elle peut se transformer (560).

D'autres auteurs, tel M. Picard, regrettent que cette classification, fondée uniquement sur les rapports divers de l'énergie avec notre sensibilité, manque de caractère scientifique : « On distingue souvent, dit-il, l'énergie cinétique et l'énergie potentielle; pour un système conservatif, l'énergie cinétique est l'énergie... des masses visibles, et l'énergie potentielle n'est autre chose que l'énergie des masses cachées. Ces deux énergies ne sont pas de nature différente ; la distinction au fond est factice et dépend du degré de notre connaissance » (561).

M. Brunhes (562) n'est pas moins opposé à ce mode de classement ; il l'appelle même arbitraire et propose de lui substituer une classification en énergies de forme supérieure et en énergies de forme inférieure ou dégradées, classification qui présente le grand avantage d'être à la fois objective et scientifique.

---

(559) Ostwald, *L'évolution d'une science,* p. 319. Paris, Flammarion, 1909.

(560) Id., *ibid.,* p. 319. — *L'énergie,* pp. 134-145. Paris, Alcan, 1910.

(561) Picard, *La science moderne et son état actuel,* p. 116. Paris, Flammarion, 1910.

((562) Brunhes, *La dégradation de l'énergie,* pp. 38 et suiv. Paris, Flammarion, 1908. — Cfr. *Revue de Métaphysique et de Morale,* mars 1910.

Les énergies de forme supérieure qui sont l'énergie électrique et les diverses formes d'énergie mécanique proprement dite, la force vive de la matière en mouvement, l'énergie élastique, peuvent se transformer totalement en travail mécanique, et pour ce motif l'homme lui-même peut les faire servir aux usages les plus variés et les plus utiles. De là leur nom d'énergies de forme supérieure.

La seconde catégorie comprend l'énergie calorifique, la chaleur rayonnante, l'énergie mise en jeu dans les changements d'états physiques ; elles sont plus ou moins dégradées et présentent même tous les intermédiaires entre une valeur nulle et une valeur égale à celle des formes supérieures. Il est impossible, par exemple, que dans une machine toute la chaleur produite ou fournie soit employée au travail de la machine ; 85/100 de la chaleur sont d'ordinaire inutilisables à cette fin. De même, si un poids de 425 kilogrammes, tombant sur le sol de la hauteur d'un mètre, peut par sa chute produire une calorie, il n'est jamais possible, avec cette seule calorie, de faire remonter le même poids à la hauteur d'un mètre.

210. Définition scientifique de l'énergie. — Au point où nous en sommes arrivés, une question nouvelle, semble-t-il, s'impose.

L'énergétique, avons-nous dit, est la science de l'énergie. Mais cette énergie dont on connaît les deux éléments constitutifs, quantité et intensité, ainsi que les formes diverses et le mode de classement, ne pourrait-on la définir elle-même ? Qu'est-ce que l'énergie ? N'est-ce pas la première question à résoudre pour qui veut définir le caractère de la science qui s'en occupe ?

Sans doute, mais ce terme « énergie », bien que fréquemment en usage dans le langage journalier et scientifique, désigne des choses si diverses qu'il est difficile d'en donner une définition exacte. Si l'on fait abstraction des formes multiples sous lesquelles se manifeste l'énergie, on ne découvre plus en elle qu'un petit nombre de caractères essentiels, communs à toutes les modalités, et la notion ainsi obtenue demeure nécessairement vague :

1° Toute énergie se révèle comme une chose réelle et positive, car elle a une valeur marchande ; on vend l'énergie électrique, l'énergie luminique.

2° Quelle qu'en soit la nature, elle est une grandeur mesurable : en sciences on mesure les énergies par le travail mécanique qu'elles sont capables de fournir.

3° L'énergie est une réalité transformable : nous constatons, en effet, qu'une forme se transforme en une autre, que l'électricité, par exemple, produit de la chaleur, de la lumière, du travail mé-

canique, comme le travail mécanique, à son tour, produit de l'électricité, des phénomènes calorifiques et luminiques.

4° Enfin, dans un système conservatif ou isolé, c'est-à-dire dans un système soustrait à l'action des forces extérieures, l'énergie, malgré ses variations qualitatives ou de forme, conserve une valeur invariable.

Tels sont les seuls caractères vraiment essentiels. La définition qui les formule manque, il est vrai, de netteté et de précision, mais il n'est point possible de la rendre plus claire et plus précise si on veut l'adapter à toutes les modalités que nous offre l'énergie physique, mécanique, chimique, nerveuse, etc... (563).

Les savants eux-mêmes reconnaissent cette difficulté. « Nous ne pouvons, dit H. Poincaré, donner de l'énergie une définition générale... Mais quelles que soient les notions nouvelles que les expériences futures nous donneront sur le monde, nous sommes sûrs d'avance qu'il y aura quelque chose qui demeurera constant et que nous pouvons appeler l'*énergie* » (564).

Pour M. Meyerson « c'est évidemment la formule la plus générale, la formule typique du principe de conservation... » Ce quelque chose, nous ne le connaissons pas, nous ne pouvons en indiquer d'avance la nature, mais nous espérons qu'il demeurera constant dans le temps... » (565).

M. Lebon ajoute la raison de cette difficulté. « Dans certains cas élémentaires, dit-il, il est facile de distinguer l'énergie cinétique de l'énergie potentielle, mais dès qu'on s'écarte un peu de ces cas... les formules finissent par embrasser des choses tellement hétérogènes qu'on ne peut plus définir l'énergie » (566). Tel est aussi l'avis de M. Brunhes (567).

---

(563) Otswald, *L'énergie*, pp. 116 et 214. Paris, Alcan, 1910. — *L'évolution d'une science*, p. 336. Paris, Flammarion, 1909. — « Cette notion d'énergie, écrit M. Le Chatelier, est, en raison de son défaut d'objectivité, une cause de grande obscurité quand on veut l'envisager indépendamment des hypothèses qu'elle était, destinée primitivement à exprimer. » *Principes de l'énergétique (Journal de physique pure et appliquée*, 3e série, t. III, 1904), p. 289.

(564) H. Poincaré, *La science et l'hypothèse*, p. 195. Paris, Flammarion, 1907. — Cfr. Picard, *La science moderne et son état actuel*, p. 134. Paris, Flammarion, 1910.

(565) Meyerson, *Identité et réalité*, p. 230. Voir aussi p. 309. Paris, Alcan, 1912.

(566) Lebon, *L'Evolution des forces*, p. 59. Paris, Flammarion, 1908.

(567) Ce physicien croit que la seule définition admissible a été donnée par Thomson, (*Mach. and Phys. Papers*, I. p. 222). Mais cette définition a le désavantage, ou bien d'être relative à un état donné, et, partant, de n'être pas assez générale, ou bien de supposer des connaissnaces que nul physicien ne possède actuellement. Cette définition, la voici : « L'énergie mécanique totale d'un corps peut être définie comme la valeur numérique de tout l'effet qu'il pourrait produire, en chaleur émise et en résistances vaincues, s'il était refroidi à fond et amené à un état de contraction indéfinie ou d'expansion indéfinie, suivant que les forces qui agissent entre ses par-

211. Définitions défectueuses de l'énergie. — Il importe de se mettre en garde contre ces définitions commodes et faciles qui répondent fidèlement à la notion vulgaire de l'énergie, mais qui sont inconciliables avec sa notion scientifique.

Telle est, par exemple, la définition suivante : « On entend par énergie l'ensemble des différentes forces naturelles » (568).

« Il ne faut pas oublier, dit avec raison M. Lodge, la distinction entre la *force* et l'*énergie*. Ces termes sont tellement confondus d'habitude par les vulgarisateurs, qu'il est quelquefois difficile de les distinguer : ils sont absolument distincts en physique » (569).

En fait, la *force* n'est qu'un des éléments constitutifs de l'énergie et ne doit jamais être confondue avec l'énergie elle-même (570).

Considérons, en effet, l'énergie potentielle que possède un poids de 20 kilogr. suspendu à la hauteur de deux mètres. Que comprend cette énergie ? D'évidence, elle implique deux facteurs : le poids et la hauteur de chute, ou l'espace à parcourir ; ce dernier facteur a même une grande importance, car l'énergie potentielle devient d'autant plus grande que la hauteur de chute est plus considérable. Dans l'espèce, on évaluera donc cette énergie à $20 \times 2 = 40$ kilogrammètres, formule dans laquelle la force, c'est-à-dire le poids ou la pesanteur, ne représente qu'une partie de l'énergie.

Bien plus, une quantité d'énergie quelconque peut toujours être évaluée en *travail*. Or, en mécanique, un travail équivaut au produit de l'intensité de la force par l'espace que parcourt son point d'application, lorsque celui-ci est déplacé suivant la direction de la force. L'intensité d'une force, ou la dépense d'action est d'autant plus grande, que la masse à déplacer est plus considérable, et que l'accélération qu'elle lui communique est plus grande. L'intensité peut donc s'exprimer par le produit de la masse (m) par l'accélération (v). Mais il est clair que la dépense d'action est, elle aussi, d'autant plus grande que l'espace parcouru est plus étendu. Si l'on remplace l'espace parcouru par

---

ticules sont attractives ou répulsives, quand tous les mouvements thermiques sont arrêtés par lui », — ou bien, l'énergie mécanique du corps, dans un état donné, désigne l'équivalent mécanique des effets que le corps pourrait produire en passant de l'état où il se trouve, à l'état initial. — Cfr. BRUNHES, *La Dégradation de l'énergie*, pp. 248 et 249. Paris, Flammarion, 1908.

Pour le physicien CHWOLSON, l'énergie se définit : « Wenn ein Korper, oder eine Gruppe von Körpern fähig ist, Arbeit zu leisten, so sagen wir, dass sie Energie besitze. *Lehrbuch der Physik*, I, s. 118.

(568) BOUCHER, *Essai sur l'hyperespace*, p. 120. Paris, Alcan, 1905.

(569) LODGE, *La vie et la matière*, p. 127. Paris, Alcan, 1909.

(570) BRUNHES, *La Dégradation de l'énergie*, p. 39. Paris, Flammarion, 1908.

son expression mathématique, on obtient $\frac{m v^2}{2}$, qui est la formule du travail ou de la dépense d'action (571).

Or, trois éléments se rencontrent dans le travail ainsi conçu : la masse, l'accélération et l'espace qui ne peuvent, d'évidence, être identifiés avec la force.

« Le sens de ces deux termes (énergie et force) diffère pour le physicien, dit Lebon, parce que l'énergie est mesurée par sa transformation en travail. Elle représente alors le produit d'une force par un déplacement. La force n'est, dans ce cas, qu'un des facteurs de l'énergie » (572).

Ce serait même une erreur de confondre « la force » avec cette espèce d'énergie qui s'appelle « force vive ». La formule mv^2 qui en exprime la valeur nous montre qu'elle est aussi constituée de deux facteurs, une masse à mouvoir et une vitesse ou une relation entre un espace déterminé et le temps consacré à le parcourir (573).

D'aucuns diront peut-être : Si l'énergie n'est pas identifiable avec la force, au moins n'est-il pas permis de l'appeler « puissance motrice », « capacité de travail », pouvoir d'action ? En d'autres termes, le concept d'énergie n'implique-t-il pas essentiellement l'idée de possibilité d'action ?

Sans doute, il est des cas où ces différents termes sont réellement synonymes, mais on rencontre aussi des énergies qui sont cependant incapables de produire aucun effet quelconque, au moins dans les circonstances où elles se trouvent. L'énergie n'est synonyme de puissance motrice, de pouvoir d'action ou de capacité de travail que si elle est *utilisable* (574). Or, elle le devient s'il y a entre les corps qui la possèdent une différence de tension, une absence d'équilibre électrique, thermique, mécanique ou autre. Deux corps à même température ne peuvent exercer aucune action l'un sur l'autre ; mais si la température de l'un est supérieure à celle de l'autre, le corps chaud possède un vrai pouvoir d'action sur le corps froid, et ce pouvoir cesse lorsque l'équilibre est établi.

De même, il y a pouvoir d'action ou puissance motrice lors-

---

(571) Freycinet, *Essai sur la philosophie des sciences*, pp. 233 et suiv. Paris, Gauthier-Villars, 1900.

(572) Lebon, *L'évolution de la matière*, p. 14. Paris, Flammarion, 1910.

(573) Brunhes, *La Dégradation de l'énergie*, p. 237. Paris, Flammarion, 1908.

(574) « Il y a identité absolue de signification dans les termes suivants : Puissance motrice (Sadi Carnot) ; Force (S. Robert) ; Power of working (Tait) ; Motivity (Thomson) ; Available energy (Maxwell) ; Kraft (Mayer) ; Freie Energie (Helmholtz). Souvent l'expression d'Energie et parfois aussi celle de Travail sont employées à tort dans le même sens. » Le Chatelier, *Principes de l'énergétique (Journal de Physique théorique et appliquée*, 3e série, t. III, 1904), p. 291.

qu'un liquide passe d'un niveau supérieur à un niveau inférieur, lorsque l'électricité s'écoule d'un corps à haut potentiel vers un corps à bas potentiel, lorsqu'un corps animé de vitesse vient en contact avec un autre corps animé d'une vitesse moindre (575).

Cette différence de tension vient-elle à faire défaut, l'équilibre est-il établi, aussitôt les corps perdent tout pouvoir d'action, bien qu'ils soient doués de vraies énergies ; tel, le cas de deux corps maintenus à une même température.

En résumé, toute énergie *utilisable* ou dont on peut tirer des effets utiles, possède un *pouvoir d'action.* Mais toute énergie n'est pas utilisable.

212. Principes de l'énergétique. — Comme toute science, l'énergétique s'appuie sur certains principes. Il reste à étudier leur nature, à fixer leur portée, à déterminer les relations qui les unissent.

Le premier de ces principes s'appelle « le principe de la conservation de l'énergie ». On l'énonce d'ordinaire comme suit : la quantité d'énergie contenue dans l'univers demeure invariable (576).

L'univers est soumis à des changements incessants. A première vue, il semble même que rien n'échappe à cette loi de transformation de la matière. Cependant, à travers ces métamorphoses, une entité persiste, c'est l'énergie. Sous les formes si diverses de chaleur, d'électricité, de simple mouvement, de lumière, elle accomplit ses mystérieuses destinées, comme une entité indestructible dont le propre est de ne se dépouiller d'une forme que pour en revêtir une autre équivalente. Si l'une de ces modalités diminue, une autre compense exactement cet effacement, en sorte que dans un système conservatif ou fermé, la somme des énergies reste constante.

Le second principe de l'énergétique est « le principe de Carnot ». « On peut comparer, dit ce physicien, la puissance motrice de la chaleur à celle d'une chute d'eau... La puissance motrice d'une chute d'eau dépend de la hauteur et de la quantié du liquide ; la puissance motrice de la chaleur dépend aussi de la quantité de calorique employé, et de ce que nous appellerons la hauteur de sa chute, c'est-à-dire de la différence de température des corps entre lesquels se fait l'échange du calorique » (577).

---

(575) LEBON, *L'Evolution des forces,* p. 71. Paris, Flammarion, 1908. — BRUNHES, *La Dégradation de l'énergie,* pp. 43, 374 et suiv. Paris, Flammarion, 1908.

(576) Ce principe est basé sur l'expérience : Cfr. PFAUNDLER, *Lehrbuch der Physik,* II. B., S. 517, 1898. — DRESSEL, *Lehrbuch der Physik,* Freiburg, S. 38, 1905. — H. POINCARÉ, *La science et l'hypothèse,* p. 131. Paris, Flammarion, 1907.

(577) SADI CARNOT, *Réflexions sur la puissance motrice du feu,* p. 15. Cfr. aussi p. 6, 1824.

En d'autres termes, pour que la chaleur puisse produire du travail mécanique, il faut non seulement de la chaleur, mais du froid ; il faut qu'on puisse faire descendre une partie de cette chaleur sur un corps à température plus basse ; la chaleur tend alors à se mettre en équilibre entre les corps inégalement chauds et jouit du même coup d'une vraie puissance motrice.

Mais le principe de Carnot qui visait directement les relations entre la chaleur et le travail, s'applique à toutes les formes de l'énergie. De là son immense importance. En fait, un phénomène n'est possible que là où il existe une différence d'intensité ou de tension, et l'énergie tend à se diriger du point où elle est le plus élevée vers le point où elle l'est le moins (578).

Ainsi généralisé ou appliqué à toutes les forces connues de l'univers, le principe de Carnot met en relief l'universelle tendance de la nature au nivellement, et par suite à la dégradation de l'énergie. Si, comme le dit Clausius, on ne peut sans dépenser du travail faire passer du froid sur un corps chaud ; si l'énergie tend à passer d'un niveau supérieur à un niveau inférieur, il faut que l'énergie utilisable ou capable de produire des effets utiles, subisse une diminution progressive.

D'ailleurs, toutes les formes de l'énergie ont une tendance à se transformer en énergie calorifique qui se présente comme la forme la plus stable, mais aussi comme une énergie dégradée. Bien qu'on puisse, en effet, transformer totalement une quantité de travail mécanique en chaleur, il est impossible de transformer totalement cette quantité de chaleur en travail.

A raison de ces conséquences auxquelles le principe de Carnot paraît devoir nécessairement aboutir, plusieurs physiciens l'appellent aujourd'hui « principe de la dégradation de l'énergie » (579).

Enfin, le principe de Carnot fut complété par le principe d'Hamilton ou principe de la moindre action, qui est devenu le troisième principe de l'énergétique.

D'après cette règle, lorsque les molécules sont sollicitées par une force pour se rendre d'un point à un autre, ces molécules ne peuvent prendre qu'une seule direction, savoir, celle qui demande le moindre effort (580).

213. Relation entre les principes de l'énergétique. — Trois principes dominent donc toute l'énergétique (581). Quelle en est l'exacte portée, quelle relation faut-il établir entre eux ?

---

(578) OSTWALD, *L'énergie*, pp. 150 et 151. Paris, Alcan, 1910.

(579) BRUNHES, *La dégradation de l'énergie*, p. 236. Paris, Flammarion, 1908. — L. POINCARÉ, *La physique moderne, son évolution*, p. 82. Paris, Flammarion, 1909.

(580) LEBON, *L'évolution des forces*, p. 46. Paris, Flammarion, 1908.

(581) Les deux premiers principes nous viennent de la thermodynamique,

Le principe de la conservation de l'énergie ne nous donne aucun renseignement ni sur la nature de l'énergie, ni sur les conditions requises pour qu'une énergie se transforme en une autre, ni sur le sens et la direction suivant lesquels se font les transformations. « Il n'exprime rien d'autre, dit M. Mach, qu'une relation quantitative invariable entre les phénomènes mécaniques et les phénomènes d'autres catégories » (582). En d'autres termes, ce principe affirme, qu'en dépit de l'infinie variété des phénomènes ou des changements de l'univers, la somme globale de l'énergie qui y est contenue reste invariable.

Bien différent est le principe de Carnot généralisé.

A l'encontre du premier qui vise exclusivement la *quantité*, celui-ci regarde la *qualité* de l'énergie, et loin d'affirmer la conservation intégrale de la qualité, il nous apprend au contraire que la qualité se dégrade, c'est-à-dire que l'énergie utilisable ou capable de produire des effets mécaniques diminue progressivement. « Le principe de Carnot, dit M. Meyerson, est... un énoncé, non de conservation, mais de changement. Il affirme non pas une identité, même apparente, mais une diversité. Etant donné un état, ce principe établit qu'il *doit* se modifier et dans quelle direction (583).

Les deux principes, celui de la conservation de l'énergie et celui de la dégradation de l'énergie, sont donc indépendants l'un de l'autre, à tel point que le second pourrait conserver toute sa valeur, même si le premier était faux.

En second lieu, le principe de Carnot nous fait connaître dans quel cas les phénomènes ou les transformations d'énergies peuvent se produire et quelle en est alors l'importance. « Pour qu'un phénomène puisse avoir lieu, nous dit-il, il faut qu'il y ait une différence d'intensité non compensée, et le phénomène qui se pro-

---

c'est-à-dire de cette partie de la physique qui étudie les relations réciproques entre la chaleur et le travail. En fait, la conservation de l'énergie fut d'abord envisagée au point de vue des transformations réciproques entre ces deux énergies : travail et chaleur. Telle quantité de travail totalement dépensée pour produire du calorique représente telle quantité invariable de chaleur. Réciproquement, telle quantité de chaleur employée uniquement à produire du travail, représente telle quantité invariable de travail mécanique. A son tour, le principe de Carnot regarde les relations entre les deux mêmes réalités, mais au point de vue des conditions de leur transformation.

Il est donc vrai de dire avec H. Poincaré et M. Picard, que la thermodynamique à été l'origine de l'énergétique. Cfr. PICARD, *La science moderne et son état actuel*, p. 133. Paris, Flammarion, 1910.

(582) MACH, *La mécanique*, p. 469. Paris, Hermann, 1904.

(583) MEYERSON, *Identité et réalité*, p. 290. Paris, Alcan, 1912.

duit dans ce cas a une valeur proportionnelle à la différence d'intensité des énergies présentes » (584).

En troisième lieu, ce principe règle la marche des phénomènes, les empêche d'être réversibles, c'est-à-dire les condamne à se faire toujours dans le même sens et à ne pouvoir, par conséquent, remonter le cours du temps. Il nous apprend que le monde ne peut faire machine en arrière, ni reproduire, dans un ordre inverse, les scènes de son passé, puisque la qualité de l'énergie, ou l'énergie utilisable, diminue progressivement. Certains physiciens regardent donc le principe de Carnot comme un principe d'*évolution* et l'énoncent en disant « qu'un système isolé ne passe jamais deux fois par le même état » (585).

Enfin, le troisième principe ou principe d'Hamilton détermine davantage le sens suivant lequel se fait l'évolution de l'univers, c'est-à-dire la voie qu'il suit pour atteindre le nivellement complet de toutes les énergies. Cette voie est celle qui lui demande la moindre dépense d'énergie. M. Lebon se sert à ce sujet d'une ingénieuse comparaison que nous aimons à reproduire. « D'après le principe de Carnot, dit-il, les fleuves descendent vers la mer et ne remontent pas leur cours. D'après le principe d'Hamilton nous pouvons ajouter que les fleuves se dirigent vers la mer par le chemin qui demande à l'écoulement de l'eau le moindre effort, c'est-à-dire celui de la plus grande perte » (586).

214. Résumé de la théorie énergétique. — Telle est, dans ses grandes lignes, la théorie nouvelle. Avec la théorie électronique, le mécanisme et le néo-mécanisme, elle représente les principales tendances entre lesquelles se partagent aujourd'hui les savants qui étudient la nature inanimée.

Système de réaction contre le mécanisme, l'énergétique condamne, au nom de la science et de l'expérience, l'identification des forces avec le mouvement local.

Bien plus, entraînée par son esprit d'opposition, elle s'interdit tout essai d'explication des phénomènes matériels.

Elle ne voit dans l'univers qu'un vaste complexus d'énergies variées dont les transformations sont régies par quelques principes fondamentaux, qui ne sont eux-mêmes que des expériences généralisées, savoir : le principe de la conservation de l'énergie, le principe de Carnot et le principe d'Hamilton.

Ces principes une fois admis, elle en déduit des formules

---

(584) OSTWALD, *L'évolution d'une science, la chimie*, p. 340. Paris, Flammarion, 1910.

(585) CLAUSIUS, *Le second principe fondamental de la théorie mécanique de la chaleur (Revue des Cours scientifiques*, 1868), p. 158. — PICARD, *La science moderne et son état actuel*, p. 131. Paris, Flammarion, 1910.

(586) LEBON, *L'évolution des forces*, p. 46. Paris, Flammarion, 1908.

générales qu'il est aisé d'appliquer ensuite à chaque cas particulier, car les expériences détaillées permettent de déterminer les quantités contenues dans ces formules.

De la sorte, elle décrit et classe les phénomènes et leurs lois ; elle dispose de la manière la plus simple et la plus utile les matériaux fournis par la physique expérimentale.

Pour certains physiciens, la théorie supprime même la matière, idole de la théorie mécanique, et n'admet d'autre réalité dans le monde que le phénomène-énergie.

Tel est le but et le rôle de l'énergétique.

ARTICLE II

Examen philosophique de l'énergétisme.

215. Premier avantage de cette théorie. Restauration de la qualité dans le domaine scientifique. — Du point de vue philosophique, la théorie nouvelle contient plusieurs doctrines qui la font préférer au mécanisme ancien et moderne.

La plus importante de ces doctrines est la restauration de la qualité dans le domaine scientifique, restauration d'autant plus fondée qu'elle résulte des principes de la théorie, comme le règne de la quantité avait été la conséquence des principes du mécanisme.

Pour le mécanisme, avons-nous dit, la notion primitive, fondamentale est la notion du mouvement local. Tous les autres phénomènes doivent s'y réduire, et si, à l'heure présente, cette réduction n'est pas encore un fait accompli, ou soulève même de graves difficultés, le mécanisme conserve l'espoir de la réaliser un jour (587).

Guidée par cette conception de l'univers, la théorie mécanique n'admet donc d'autres énergies que les énergies relevant du mouvement local ou de la position des corps dans l'espace. Les principes sur lesquels elle appuie la théorie physique n'ont aussi d'autre objet que le mouvement spatial ou les notions qui s'y réfèrent, tels les espaces et temps homogènes, les déplacements, la vitesse, les masses, les accélérations, etc... (588).

Il est clair qu'à raison de pareille méthode et de pareille tendance, les mécanistes anciens et actuels ne peuvent plus logiquement accorder une place aux *qualités*, c'est-à-dire à ces réalités stables, permanentes, bien que susceptibles de variations, qui sont pour le corps les principes immédiats de ses multiples activités. La quantité seule a droit de cité dans les sciences physico-chimiques. C'est d'ailleurs ce que reconnaissent sans réserve les partisans les plus décidés du néo-mécanisme (589).

Sans doute, plusieurs mécanistes maintiennent dans leurs formules l'élément force, mais là même où ce terme est employé

---

(587) REY, *La théorie de la physique chez les physiciens contemporains*, p. 259. Paris, Alcan, 1907.

(588) THOMSON, *Revue générale des Sciences*, p. 258, 1903. — HELMHOLTZ, *La conservation de la force*. Paris, Masson, 1869. « La matière en elle-même n'éprouve d'autre changement que celui de la position *dans l'espace*, c'est-à-dire le mouvement », p. 59.

(589) REY, *La théorie de la physique chez les physiciens contemporains*, pp. 265 et suiv. Paris, Alcan, 1907.

dans un sens qualitatif, — cas plutôt exceptionnel, — il ne désigne souvent que la force mécanique destinée à produire le mouvement ou à conserver l'équilibre.

Avec l'énergétique, au contraire, le mouvement local perd cette souveraine importance que lui attribuait le mécanisme, et reprend sa place bien modeste au milieu des phénomènes si divers dont le monde est le théâtre. Il est un phénomène particulier auquel nous n'avons aucun droit de réduire les autres. C'est l'énergie qui devient la notion fondamentale embrassant l'ensemble des propriétés et des transformations de la matière. Et comme le mouvement local ne représente plus qu'une des multiples activités corporelles, la notion d'énergie apparaît du même coup comme une notion générique englobant des espèces diverses, notamment l'énergie calorifique, l'énergie électrique, l'énergie luminique, etc... Les qualités bannies de la science par le mécanisme redeviennent de la sorte l'objet principal de la physique.

Ce premier principe, qui établit entre le mécanisme et l'énergétique une différence radicale, est, on le comprend, d'une portée considérable. La substitution de l'énergie au mouvement local a élargi les bases de la physique à tel point que le mécanisme n'est plus qu'une partie restreinte de la science de la nature. Mais en même temps, la substitution de la qualité à la quantité pure a fait disparaître, au moins en grande partie, l'antagonisme qui règne depuis Descartes entre la théorie scolastique et la conception physique des phénomènes naturels.

M. Duhem avait déjà signalé cet heureux résultat de la théorie nouvelle. L'énergétique, dit-il, est une théorie des qualités et une mathématique universelle. En accordant aux qualités la large place qui leur revient en physique, elle est une réaction contre les idées cartésiennes et un retour aux principes les plus profonds des doctrines péripatéticiennes (590).

En réalité, l'identification de tous les phénomènes avec le mouvement local contredit si manifestement au témoignage des sens, que des savants eux-mêmes, notamment M. Ostwald, la condamnent au nom de l'expérience sensible (591). D'autres y voient une mutilation de la réalité, une altération des phénomènes entreprise dans le but de les faire rentrer dans le cadre étroit du mécanisme, ce qui souvent voile les analogies fécondes et empêche les progrès de la science (592).

Qu'il se produise du mouvement local dans toutes les variations de la matière, encore même qu'il ne soit pas toujours visible,

---

(590) DUHEM, *L'évolution de la mécanique*, pp. 334-335. Paris, Joannin, 1903.

(591) OSTWALD, *L'énergie*, p. 126. Paris, Alcan, 1910.

(592) MACH, *Die Principien der Wärmelehre*, S. 429.

tous le concèdent. Qu'il n'y ait que du mouvement local, c'est une conception que la métaphysique, d'accord avec les données sensibles les plus incontestables, tient pour inadmissible (593).

Il faut donc savoir gré aux énergétistes d'avoir rompu avec cette vieille tradition mécanique, en donnant à la physique une base naturelle où la science et la philosophie peuvent désormais se concilier.

216. Deuxième avantage. Avec raison, cette théorie se désintéresse de la substance. — A côté de ce premier avantage, l'énergétique en présente un autre qu'il importe de mentionner : elle a le mérite d'exclure de la physique un genre de recherches qui n'est pas de sa compétence, savoir, les recherches relatives à la substance même des êtres.

La physique, écrit M. Mach, a pour objet exclusif les sensations, c'est-à-dire les phénomènes perçus par les sens (594).

« La physique actuelle, ajoute M. Duhem, n'est pas une métaphysique ; elle ne se propose pas de pénétrer derrière nos perceptions pour saisir l'essence et la nature intime de ces perceptions. Tout autre est son but » (595).

Telle est aussi l'opinion de M. Ostwald (596).

Cette tendance de l'énergétique à ne point dépasser dans ses investigations l'objectivité phénoménale de la matière, s'accentue de plus en plus chez les hommes de science. A l'encontre de Descartes et de son école qui proclamaient l'homogénéité de la matière comme un résultat des données expérimentales et une déduction de la philosophie naturelle, les néo-mécanistes eux-mêmes ont renoncé à la prétention de découvrir les principes essentiels de l'être corporel, d'atteindre la substance cachée sous les phénomènes dont elle est le siège.

Certes, la cosmologie ne peut qu'applaudir à cette nouvelle délimitation du champ de la physique.

Du point de vue scientifique, on ne voit pas quel avantage immédiat le physicien retirerait d'une étude qui aurait pour objet la nature intime, l'origine, les destinées de la substance corporelle, car l'analyse complète des phénomènes physiques ne présuppose point la solution de pareils problèmes cosmologiques.

Mais du point de vue philosophique, il n'est pas sans danger pour le physicien de vouloir résoudre ces questions. Si une force physique peut se révéler complètement dans un ensemble de phénomènes se référant à la physique, la substance corporelle, au

---

(593) Cfr. D. Nys, *Cosmologie*, 1er vol., nos 124-136.

(594) Mach, *Analyse der Empfindungen*, S. 1-7.

(595) Duhem, *Le mixte et la combinaison chimique*, pp. 202-205. Paris, Naud, 1902.

(596) Ostwald, *L'énergie*, pp. 166-169. Paris, Alcan, 1910.

contraire, ne manifeste jamais totalement sa nature intime dans les données d'aucune science spéciale, pour le motif qu'elle est le substrat et la source de tous les phénomènes, de toutes les manifestations dont les diverses sciences se partagent l'étude. Telles activités appartiennent à la chimie ; ce sont les transformations profondes de la matière. Telles autres sont du domaine de la physique, par exemple, les forces et les propriétés communes de l'être corporel. D'autres enfin, telles les formes cristallines et les influences multiples qu'exerce la matière cristallisée sur les propriétés physiques, constituent l'objet de la cristallographie.

Pour déceler la nature de la réalité substantielle, il faut donc interroger l'ensemble de ses manifestations, son rayonnement accidentel total.

A vouloir porter un jugement sur cet être caché, d'après les données d'une seule science, on se laisse forcément guider par une vue fragmentaire, incomplète de la réalité ; de là à l'erreur il n'y a qu'un pas.

Telle fut la cause de l'échec du mécanisme ancien sur le terrain de la métaphysique. Au lieu de plier l'expérience à ses principes pour conserver l'unité de la doctrine, il aurait assurément modifié la doctrine s'il était resté plus en contact avec la totalité des faits. En dehors du mouvement local, il aurait découvert de multiples activités irréductibles au mouvement et non moins réelles que lui, des richesses trop variées pour être l'apanage d'une substance homogène.

En ne réservant à la physique que la réalité phénoménale, l'énergétique a donc circonscrit cette science dans ses frontières naturelles et supprimé du même coup une source de malentendus et de perpétuels conflits avec la cosmologie.

Tels sont les deux titres que possède la théorie nouvelle au bienveillant accueil des cosmologues.

On en conclurait à tort que ceux-ci peuvent s'y rallier sans réserve. Pour avoir évité certains écueils où le mécanisme menace de sombrer, cette théorie n'est cependant pas à l'abri de toute critique.

217. Défauts de l'énergétique. Elle a tort de se désintéresser de la nature des phénomènes. — Bien que les énergétistes aient fait preuve de sage prudence en restreignant à la réalité phénoménale l'objet de la physique, on peut se demander si la méthode employée dans l'étude de cet objet est en tous points recommandable, au point de vue de la philosophie naturelle.

L'énergétique, on le sait, s'interdit toute enquête sur la nature des phénomènes. Synthétiser les données expérimentales, les classer, exprimer en formules mathématiques leurs rapports, l'ordre de leur succession, leurs effets, tel est son but primordial. La

théorie nouvelle, en un mot, est une méthode de classification, sans plus. Or, est-il souhaitable, dans l'intérêt de la science et de la philosophie, que la physique érige en principe pareil exclusivisme, s'abstienne de parti pris, de toute recherche, de tout jugement sur la constitution des propriétés de la matière ? Nous ne le croyons pas.

Le physicien a le libre choix de ses méthodes et nul ne lui fera un grief d'accorder ses préférences à celle qui simplifie davantage le travail intellectuel, ou, comme le dit M. Mach, qui réalise le mieux l'économie de la pensée. A en croire ses partisans et ses adversaires, l'énergétique atteint parfaitement ce but, constitue un répertoire d'un emploi commode et économique.

Il reste cependant vrai qu'une simple classification des phénomènes ne répond pas aux légitimes aspirations de nos intelligences (597). D'instinct, nous cherchons à découvrir la nature de ces phénomènes. Sans être un professionnel de la physique ou de la chimie, qui ne s'est demandé ce que sont la chaleur, l'électricité, la lumière, quel est le caractère intime de cette force mystérieuse toujours en action dans les combinaisons et décompositions des corps ?

Or, le physicien, moins que tout autre, ne peut se soustraire à ces exigences de notre nature raisonnable, car nul n'a de contact aussi fréquent avec le monde de la matière. Les expériences de laboratoire qui, à l'heure présente, occupent une si grande place dans la formation du physicien, ne lui permettent-elles pas de saisir sur le vif les plus minutieuses manifestations des forces physiques ? Dès lors, pourquoi, en possession de cette multitude de faits où les propriétés corporelles se déploient sous leurs modalités les plus diverses, ne tenterait-il pas une hypothèse explicative ? Pourquoi, par exemple, ne pourrait-il pas, sans abandonner le vrai terrain de la physique, soulever ce problème : comment faut-il concevoir la chaleur pour rendre compte de la totalité des phénomènes qui s'y réfèrent ?

Si la nature de ces propriétés doit rester pour nous une énigme, l'attitude des énergétistes s'explique. Mais l'aphorisme de Du Bois-Reymond, « ignoramus et ignorabimus » n'est-il pas démenti par l'expérience elle-même ? Nous ne vivons pas dans un monde d'illusions. Quelque imparfaite que soit notre connaissance du monde extérieur, elle est objective et réelle, et partant, il faut bien qu'entre l'essence de la propriété et son rayonnement sensible, il y ait un rapport de cause à effet. N'eût-on d'autre espoir que de soulever un coin du voile qui nous cache cette réalité plus

---

(597) Brunhes, *La dégradation de l'énergie*, p. 299. Paris, Flammarion, 1908.

profonde, la physique aurait encore une assez noble mission à remplir pour ne point concentrer toute son activité dans un travail de pure classification.

La cosmologie, on le comprend, retirerait de ces hypothèses de précieux avantages. A la lumière des phénomènes mieux connus, elle pourrait avec plus d'assurance se livrer à la recherche des causes substantielles. Les faits et leurs lois ne sont-ils pas la base et le point de départ de toute induction cosmologique ?

De son côté, la physique, elle aussi, pénétrant plus avant dans la connaissance de son objet naturel, découvrirait probablement, entre les diverses qualités de la matière, des relations insoupçonnées, des analogies nouvelles et fécondes, la raison explicative de maints phénomènes qui ouvriraient la voie à d'importantes découvertes.

L'exclusivisme préconisé par les énergétistes nous paraît donc un défaut plutôt qu'une qualité. Plusieurs physiciens, d'ailleurs, lui adressent ce reproche.

Van 't Hoff, malgré ses sympathies pour la théorie nouvelle, exprime le regret de ne pas y trouver de place pour l'hypothèse (598).

M. de Heen a la critique plus mordante : « Qu il nous soit permis, dit-il, de constater ici qu'il existe une école de savants atteints d'un mal intellectuel qu'on pourrait désigner sous le nom de pessimisme scientifique. Elle paraît s'être condamnée à ne jamais tâcher de savoir : pour elle toute conviction qui n'a pas la certitude du fait observé est d'importance nulle... Au contraire, ajoute-t-il, la physique a pour mission de remonter le plus possible à la nature des choses... à rechercher la cause des phénomènes » (599).

« La mécanique énergétique, écrit M. Lebon, trouvant plus simple d'ignorer la matière que de chercher à l'expliquer, ne conduira jamais à une conception philosophique très haute. La science n'aurait jamais progressé si elle s'était refusée à tâcher de comprendre ce qui lui semblait d'abord inaccessible » (600).

Citons enfin l'opinion de M. Picard : « L'importance du point de vue énergétique est immense, dit-il, et personne ne songe à le nier, mais on peut penser qu'il y a là un esprit exclusif peu favorable à l'invention scientifique » (601).

En fait, cette crainte de toute hypothèse explicative n'est-elle

---

(598) Van 't Hoff, *Leçons de chimie physique*, I, p. 9.
(599) De Heen, *La chaleur*, p. 5.
(600) Lebon, *L'évolution des forces*, p. 54. Paris, Flammarion, 1908.
(601) Picard, *De la science (De la méthode dans les sciences)*, p. 27. Paris, Alcan, 1910. — On trouvera de nombreuses critiques d'ordre psychologique dans l'ouvrage de M. Rey, *L'énergétique et le mécanisme au point de vue des conditions de la connaissance*, Paris, Alcan, 1908.

pas, au moins en partie, le résultat d'un scepticisme scientifique exagéré ?

Sans doute, de très nombreuses hypothèses ont vu le jour depuis une cinquantaine d'années. Combien se sont écroulées après une période de gloire plus ou moins longue, supplantées par d'autres hypothèses qui, selon toute probabilité, subiront le même sort dans un avenir plus ou moins rapproché !

Pareille déception doit-elle abattre l'enthousiasme et la confiance du chercheur ?

Nullement. Même lorsqu'elles sont de courte durée, les hypothèses rendent, d'ordinaire, de réels services et peuvent être parfois la cause d'importantes découvertes. Chaque travailleur conçoit le plan d'un édifice et taille des matériaux pour réaliser ce plan ; l'édifice s'écroule, mais les matériaux qui ont servi à le bâtir figurent souvent en bonne place dans le monument nouveau. Au travers des vicissitudes qui renversent les unes sur les autres les théories éphémères, une idée directrice semble veiller à ce qu'aucun effort sincère vers la vérité ne demeure vain et stérile. Le créateur d'une doctrine est ainsi le précurseur inconscient des doctrines qui la remplacent (602). Si les progrès sont plus lents dans ce genre de recherches, le but élevé qu'on se propose est digne du patient labeur qu'il provoque.

Malgré certains avantages réels de la méthode énergétique, nous regrettons donc que les théories qui s'en inspirent aient cessé d'être le prolongement naturel de l'expérience et s'en montrent même, en général, complètement indépendantes, telle, par exemple, la théorie physique de M. Duhem.

Selon ce savant, le physicien n'a pas à se préoccuper des données expérimentales dans la construction de sa théorie. Il choisit à son gré ses principes et ses postulats, et à partir de ces principes, il peut suivre n'importe quelle voie, ne tenir aucun compte des faits. La théorie est admissible si elle évite toute contradiction, si elle reste d'accord avec elle-même et si ses conclusions viennent rejoindre les faits d'expérience. Elle n'est donc ni vraie ni fausse ; elle est une simple classification, ou mieux, elle tend à devenir une classification naturelle ; mais aussi longtemps qu'elle n'a pas atteint sa forme définitive, elle ne peut avoir qu'une valeur méthodologique et instrumentale (603).

Ostwald, lui aussi, ne veut voir dans la théorie qu'un instrument de méthode ou de recherche scientifique. « A l'explication

---

(602) DUHEM, *L'évolution de la mécanique*, p. 346. Paris, Joannin, 1903.
(603) DUHEM, *La théorie physique, son objet, sa nature*, pp. 24-43. Paris, Chevalier, 1906.

de la nature, dit-il, il faut substituer la simple description des faits » (604).

D'évidence, pareilles théories physiques, malgré leur immense importance, sont dépourvues de tout intérêt cosmologique.

218. Erreurs provenant d'une fausse interprétation de l'énergétique. Première erreur: la négation de la substance. — Il faut bien le reconnaître, la réaction inaugurée par l'énergétique a malheureusement dépassé, chez plusieurs de ses partisans de marque, les justes limites imposées par les faits et la raison elle-même.

Conformément à la méthode préconisée, les physiciens cessent d'étendre leurs investigations au delà des phénomènes. C'est leur droit. Mais leur indifférence légitime à l'égard de la substance les autorise-t-elle à en nier l'existence ? Assurément non.

Telle n'est point cependant l'opinion de plusieurs énergétistes. Tandis que M. Lebon se contente de mettre en doute la réalité substantielle, M. Ostwald n'admet que le phénomène-énergie et M. Mach déclare contradictoire la notion même de la « chose en soi ». L'univers se ramène de la sorte à une série continue de phénomènes toujours en voie de transformation, doués du privilège de ne pouvoir disparaître que pour réapparaître sous des formes nouvelles qui préparent elles-mêmes le retour des formes antérieures.

219. Critique de ce phénoménalisme. — Ce phénoménalisme outré est d'autant plus regrettable qu'il ne fait point partie intégrante de la théorie, et ne découle point de ses principes. M. Duhem, par exemple, dont on connaît les sympathies pour la physique énergétique, est substantialiste convaincu. Pour lui, le noumène est tout aussi réel et objectif que le phénomène. Sans en nier l'existence, qu'il établit par ailleurs, il en fait simplement abstraction en physique parce que cette science n'a pas à s'en occuper.

Combien cette attitude semble rationnelle et prudente, surtout chez le physicien énergétiste qui s'interdit en principe toute incursion dans les régions de l'ultra-phénomène !

D'où vient donc ce phénoménalisme ? (605).

Ce phénoménalisme scientifique tire en partie son origine, croyons-nous, d'une fausse conception des rapports de la substance avec ses propriétés.

(604) OSTWALD, *La déroute de l'atomisme contemporain (Revue générale des Sciences,* 1910), p. 958.

(605) On ne peut nier que l'évolution rapide de ce système soit due aussi à l'influence de la psychologie pragmatiste. M. Mach, l'un des phénoménalistes les plus ardents, s'est manifestement inspiré des idées nouvelles. Ce n'est pas le lieu d'entreprendre la critique de cette psychologie dont le crédit, d'ailleurs, ne cesse de décroître. Mais il paraît au moins fort étrange de voir la psychologie imposer ses lois à la science physique qui devait, au contraire, constituer la base de toutes les disciplines philosophiques.

D'ordinaire les auteurs précités se représentent la substance comme une réalité inerte, indifférente à l'égard de son décor accidentel et des activités que se déploient en elle et autour d'elle (606). Ils ne lui attribuent d'autre rôle que de soutenir les accidents, de les maintenir dans l'existence. L'être corporel se trouve ainsi divisé en deux parties : l'une, les propriétés constituant à elles seules la totalité des agents et des phénomènes cosmiques ; l'autre, la substance n'ayant aucune part dans la vie et l'évolution de l'univers et échappant complètement aux sens et à l'intelligence. Ainsi conçue, la réalité substantielle paraît un élément de luxe dont la disparition ne compromet en aucune manière le cours de la nature.

Or, pareille conception est une caricature de la théorie substantialiste. Sans doute, par un travail abstractif, naturel à l'homme et indispensable d'ailleurs au physicien, on peut étudier isolément les propriétés d'un être ; en fait, cependant, substance et accidents ne sont point des entités accolées l'une à l'autre ; elles constituent un tout, un seul être dans lequel les énergies foncières et subsistantes se canalisent, se spécifient et se manifestent par des énergies secondaires, appelées propriétés.

Au surplus, de deux hypothèses, l'une : ou bien les propriétés contiennent en elles-mêmes tout ce que requiert une existence indépendante, et dans ce cas, il y a autant de substances que de propriétés. Ou bien ces qualités ne réunissent pas toutes les conditions d'existence, et dans cette hypothèse, elles ont besoin d'un sujet d'adhérence qui supplée à leur insuffisance native. Les propriétés deviennent alors les modalités ou les aspects objectivement distincts de l'être corporel.

La peur de la substance force donc les phénoménalistes à multiplier sans motif les substances, ou à souscrire à la plus manifeste des contradictions, savoir, qu'une chose existe, bien que dépourvue de ce que nécessite l'existence.

Et puisque la substance s'impose, n'est-il pas plus conforme à l'expérience d'admettre que toutes les propriétés, toujours unies en un même point de l'espace, toujours solidaires les unes des autres, toujours groupées en un faisceau indissoluble, ont une commune origine, une commune existence, en un mot, qu'elles sont le signalement d'une substance corporelle ?

Considérée sous cet angle, la substance cesse d'être ce que M. Mach appelle « la monstrueuse et inconnaissable chose en soi qui se cache derrière les phénomènes » (607), pour devenir le principe primordial, organisateur et régulateur de l'évolution cosmique.

---

(606) Ostwald, *L'énergie*, p. 170. Paris, Alcan, 1910.
(607) Mach, *La connaissance et l'erreur*, p. 23. Paris, Flammarion, 1908.

Telle est la pensée qu'exprime L. Poincaré dans son bel ouvrage sur la *Physique moderne :* « Du point de vue philosophique, il est d'ailleurs assez difficile de ne pas conclure des qualités que révèlent les formes variées de l'énergie à l'existence d'une substance possédant ces qualités ; cette énergie qui réside en une région, qui se transporte d'un endroit à un autre, éveille forcément, quoi que l'on en ait, l'idée de la matière » (608).

220. Deuxième erreur : la négation de la matière. — Il est un reproche beaucoup plus grave que nous devons adresser à l'énergétique : c'est d'être devenue, au moins chez plusieurs de ses partisans les plus convaincus, une théorie dynamique, exclusive de la matière. Toute la réalité cosmique se résume en un mot, l'énergie ; la matière est bannie de la physique comme un élément inutile.

« Le caractère distinctif de l'énergétique, écrit M. Ostwald, est l'abandon du dualisme qui a régné jusqu'ici entre la matière et l'énergie ; celle-ci y prend la place du concept le plus général... Non seulement la matière doit supporter le voisinage de l'énergie, comme on le voit dans les traités modernes de sciences naturelles, écrits dans un esprit de progrès, mais il lui faut céder la place sans conditions et rentrer comme une reine déchue dans son douaire, où elle s'éteindra au milieu des courtisanes de sa vieillesse » (609).

« La transformation de la matière en énergie, réalisée dans nos laboratoires, dit M. Lebon, a prouvé que l'antique dualité entre la force et la matière devait disparaître » (610).

La sentence, on le voit, est radicale.

221. Critique de cette théorie. Sens vrai du mot « matière ». — Avant de soumettre à un examen critique ce dynamisme nouveau et les preuves invoquées en sa faveur, il est nécessaire, semble-t-il, de fixer d'abord le sens des deux termes que l'on prétend substituer l'un à l'autre, « matière » et « énergie ».

Qu'est-ce que la matière ?

Il résulte de la critique du mécanisme et du dynamisme, qu'il faut comprendre sous le nom de matière, toute réalité subsistante, naturellement étendue dans l'espace, douée de masse, de poids et de certaines propriétés communes, notamment, la chaleur, l'électricité, le magnétisme, l'affinité chimique, les forces attractives et répulsives. Ces propriétés ont leurs racines dans le fond sub-

---

(608) L. Poincaré, *La physique moderne, son évolution,* p. 69, Paris, Flammarion, 1909. Il se peut que certains auteurs ne refusent l'existence subsistantielle qu'à la matière et l'attribuent à l'énergie. Nous rencontrerons plus loin cette opinion.

(609) Ostwald, *L'évolution d'une science, la chimie,* pp. 313 et 314. Paris, Flammarion, 1909.

(610) Lebon, *L'évolution de la matière,* p. 309. Paris, Flammarion, 1910.

stantiel et lui restent indissolublement unies, bien qu'elles soient soumises à la loi générale du changement.

Jusqu'en ces dernières années, les physiciens croyaient que la masse ou l'inertie n'était pas soumise à l'empire de cette loi et lui attribuaient le privilège de l'invariabilité. La théorie électronique a ébranlé cette antique conviction ; elle paraît même établir péremptoirement, à en croire certains savants, que la masse varie et s'accroît d'une manière très appréciable dans les cas de grandes vitesses se rapprochant de la vitesse de la lumière.

Il est prématuré de porter un jugement définitif sur une question encore débattue. Quoi qu'il en soit de cette découverte, fût-elle même fondée, elle ne peut compromettre les destinées de la matière, ni mettre son existence en danger. Ce qui caractérise la matière, c'est l'exigence naturelle qu'elle manifeste à l'égard de ses propriétés et partant l'impossibilité pour elle d'en être totalement dépouillée. Mais rien ne nous prouve qu'il lui est essentiel de les posséder à tel ou tel degré invariable.

On dira peut-être : si toutes les propriétés, sans exception, sont susceptibles de variations, que devient le principe de la conservation de la matière ?

Nous répondrons qu'il en serait de ce principe comme de tant d'autres que la science mieux informée a modifiés, élargis ou restreints. Lavoisier qui en est l'inventeur l'avait formulé au nom de l'expérience. A l'expérience de nous dire si ce principe a un caractère absolu, ou s'il faut le regarder comme une loi simplement approchée.

Cependant, même dans cette dernière hypothèse, on pourrait soutenir encore, non sans raison, qu'à travers les transformations de la matière et sous le faisceau des propriétés variables, persiste inchangé ce substrat indéterminé, identique chez tous les êtres, appelé par les scolastiques « matière première ». Malgré les vicissitudes incessantes des principes spécifiques et de leurs manifestations accidentelles, cette matière première constituerait donc la seule réalité invariable de l'univers.

Bien qu'à notre avis, la masse soit l'expression directe de cette matière première et paraisse devoir participer à son privilège d'invariabilité, aucun fait ne nous force à la rendre indépendante de toute influence extrinsèque. Les propriétés naturelles de la matière ne relèvent pas uniquement de la nature des corps ; elles sont, dans une certaine mesure, fonction du milieu. L'affinité chimique, l'atomicité, qui comptent parmi les plus importantes, n'ont-elles pas un caractère essentiellement relatif ? Est-il possible de les définir autrement que sous la forme de relations ? L'affinité n'est-elle pas abolie aux températures très basses ? Le phosphore et le potassium, cependant si énergiques, ne devien-

nent-ils pas inertes dans l'oxygène liquide ? De même, veut-on définir l'état naturel de l'eau ? Ne faut-il pas de toute nécessité faire intervenir la température et dire : l'eau est un corps liquide, mais à la condition que sa température soit supérieure à 0° et inférieure à 100 degrés ? (611).

Les variations de la masse sous l'influence des grandes vitesses rentreraient donc sous la loi générale des transformations de la matière.

222. Sens du mot « énergie ». — La seconde notion dont il importe de connaître le sens exact est celle d'énergie.

Nous en avons déjà donné la définition scientifique, définition vague, imprécise à cause des éléments disparates qu'elle doit englober. Cependant, malgré qu'on en ait, cette notion d'énergie implique essentiellement, nous semble-t-il, un pouvoir d'action sinon actuel, au moins possible dans certaines circonstances déterminées. Deux corps, dit-on, maintenus à la même température, possèdent de l'énergie bien qu'ils ne puissent exercer aucune action l'un sur l'autre. Soit, mais il est certain que tous les deux peuvent agir sur des corps plus froids. La chaleur, qui est une forme d'énergie dégradée ou inférieure, équivaut à une forme supérieure en présence d'un milieu refroidi au zéro absolu. Dans ce cas, actuellement encore hypothétique, elle serait apte à se transformer totalement en travail mécanique. Jamais, croyons-nous, on ne donnerait le nom d'énergie à une réalité qui, dans aucun cas, ne pourrait exercer une activité quelconque.

D'ailleurs, que tel soit le sens vrai, sinon explicite ,du terme « énergie », nous en avons une preuve dans les arguments invoqués par le défenseur attitré de l'énergétique en faveur de l'existence de différentes espèces d'énergies. Le fait, dit M. Ostwald, qui nous autorise à distinguer qualitativement les énergies cosmiques, ce sont les *actions* diverses qu'elles exercent sur nos organes sensoriels (612). D'après le même auteur, l'espace lui-

(611) L. Poincaré, *La physique moderne, son évolution*, pp. 118 et suiv. Paris, Flammarion, 1909. D'après ce physicien, la variabilité de la masse ne serait même pas une conséquence nécessaire de la théorie électronique. « On considère l'atome, dit-il, comme constitué par un centre chargé positivement, ayant sensiblement la grosseur de l'atome autour duquel gravitent les électrons ; on peut supposer que ce centre conserve les caractères fondamentaux de la matière et que les électrons, seuls, n'ont plus qu'une masse électromagnétique. » p. 300. « Les mesures de l'inertie des électrons, écrit M. Lebon, n'ont porté que sur les électrons négatifs, les seuls qu'on puisse isoler entièrement de la matière. Elles n'ont pas été effectuées sur les ions positifs. Demeurant inséparables de la matière, ces derniers en possèdent la propriété essentielle, c'est-à-dire une masse constante indépendante de la vitesse. » *L'évolution de la matière*, p. 121. Paris, Flammarion, 1910. — Cfr. Brunhes, *La dégradation de l'énergie*, p. 303. — Boucher, *Essai sur l'hyperespace*,, p. 113. Paris, Alcan, 1905. — Lodge, *La vie et la matière*, p. 29. Paris, Alcan, 1909.

(612) Ostwald, *L'énergie*, p. 128. Paris, Alcan, 1910.

même ne doit-il pas prendre place parmi les énergies, pour le motif qu'il faut dépenser du travail pour le pénétrer (613) ?

Au surplus, la célèbre définition de Thomson (614), considérée par M. Brunhes comme la seule définition scientifique, irréprochable et complète de l'énergie, ne nous fait-elle pas connaître cette réalité, uniquement par les effets qu'elle peut ou pourrait réaliser dans telles circonstances déterminées (615) ?

Les énergétistes, nous l'avons dit plus haut, nous mettent en garde contre la confusion trop commune de la force et de l'énergie. Cette distinction, très légitime d'ailleurs en mécanique, ne contredit en rien notre interprétation. Toute quantité d'énergie peut être évaluée en travail. Et le travail est équivalent au produit de l'intensité de la force par l'espace parcouru. Or, il est clair que si la force n'est ici qu'une partie de l'énergie, la raison en est que, sous le nom de force, on entend seulement l'intensité de l'action, tandis que sous le nom d'énergie on comprend l'intensité et la quantité d'action.

L'énergie est donc un vrai pouvoir dynamique considéré sous son double aspect qualitatif et quantitatif, bien qu'elle ne soit pas une force au sens mécanique du mot. En fait, toute force concrète jouit, parce que liée à la matière, de ce double caractère intensif et extensif.

Au surplus, tous les physiciens en conviennent, lorsqu'il s'agit d'énergie purement mécanique, soit potentielle, soit cinétique, les notions d'*énergie* et de *puissance motrice* deviennent synonymes (616). Or, ce fait suffit à lui seul à nous révéler la tendance dynamique de la théorie nouvelle.

223. L'étude des faits permet de concilier l'énergie et la matière. — Le sens des termes fixé, nous pouvons examiner le dynamisme énergétique.

Ce dynamisme, disons-nous, est exagéré et s'appuie sur une

---

(613) Id., *Vorlesungen über Naturphilosophie*, Leipzig, Veit und Comp., pp. 283-284 et passim, 1902. D'après le savant allemand, l'énergétique nous donne une solution complète et facile du problème de la causalité. « En effet, dit-il, décrire un phénomène, c'est faire connaître les énergies qui subissent des changements, soit dans le temps, soit dans l'espace. De même, indiquer dans quelles circonstances se produit un phénomène, revient à décrire la manière d'être des énergies présentes. » *Ouv. cit.*, p. 295.

A notre avis, pareille solution est dépourvue de toute valeur. Le problème de la causalité n'est nullement identique à la loi des transformations et de la conservation de l'énergie. Si la description des métamorphoses subies par l'énergie peut exprimer les caractères d'un phénomène, elle ne nous fait point connaître la cause des métamorphoses constitutives du phénomène. Le problème de la causalité reste entier.

(614) Thomson, *Mathematical Papers*, I, p. 222. — Brunhes, *La dégradation de l'énergie*, p. 258. Paris, Flammarion, 1908.

(615) Voir plus haut, p. 275 (567).

(616) Brunhes, *La dégradation de l'énergie*, p. 43. Paris, Flammarion, 1908.

conception défectueuse de la nature matérielle. Il y a deux manières de classer sous l'étiquette « énergie » l'ensemble des propriétés de la matière.

Ou bien, on considère *certaines* propriétés comme constitutives du pouvoir d'action qui caractérise l'énergie, et les autres propriétés, soit comme moyens de mesure, soit comme conditions d'activité.

Ou bien, on les regarde *toutes* comme des éléments constitutifs du pouvoir dynamique, ou, pour employer le langage actuel, comme facteurs d'énergie.

La première classification et l'idée dont elle s'inspire sont parfaitement conciliables avec la théorie scolastique ; elles semblent être le décalque de l'expérience. La seconde, au contraire, admise par l'énergétique, conduit à un dynamisme absolu. L'analyse de quelques faits élucidera et justifiera notre pensée.

Considérons l'énergie gravifique. Comme toute énergie, d'ailleurs, elle comprend deux facteurs : l'un, la quantité, représentée par des kilogrammes ; l'autre, l'intensité ou la tension, représentée par la hauteur de chute. Leur produit exprime l'énergie gravifique.

En réalité, que contient cette énergie ?

D'abord une force proprement dite, la pesanteur.

Ensuite, deux réalités qui ne peuvent, par elles-mêmes, exercer aucune efficience quelconque, ni faire partie intégrante ou constitutive du pouvoir dynamique. Mais toutes les deux interviennent à titre de *mesure* de ce pouvoir : le poids en exprime la quantité, la hauteur de chute, l'intensité. Qu'est-ce, en effet, que cette hauteur de chute, sinon la distance entre la position occupée dans l'espace par le corps suspendu et la surface du sol ? Or, cette relation de distance qui resterait identique à elle-même, s'il n'y avait entre ses deux termes, le sol et la position du corps, que le vide absolu, cette relation de distance, disons-nous, ne peut exercer aucune causalité, aucune action quelconque. Mais elle mesure et conditionne l'intensité de la pesanteur ; l'expérience le prouve, la grandeur du pouvoir dynamique possédé par un corps qui tombe dans l'espace, est proportionnelle à la hauteur de sa chute.

A moins donc d'admettre l'espace absolu, ou de considérer l'espace comme une substance « sui generis », indépendante des corps qui y prennent place, il nous paraît impossible d'en faire un élément constitutif de l'énergie, c'est-à-dire d'un pouvoir dynamique.

Ainsi en est-il de la masse, facteur de quantité de l'énergie cinétique.

La masse d'un corps est l'aptitude qu'il possède à réduire le

mouvement qui lui est communiqué. « Si nous lançons dans l'espace avec la même dépense de travail musculaire des corps différents, ils prendront des vitesses différentes. Nous attribuons la plus grande masse au corps qui prend, dans ces conditions, la plus petite vitesse » (617).

La caractéristique de la masse est donc son pouvoir réducteur ou sa résistance au mouvement communiqué, mais cette résistance inversement proportionnelle au carré de la vitesse, est essentiellement passive. L'impulsion donnée au corps n'est donc nullement détruite, elle reste tout entière dans le corps, mais le mouvement local qui en résulte est d'autant moins intense que la quantié de matière est plus grande.

A raison de sa nature essentiellement passive, la masse ne peut donc jamais devenir un pouvoir dynamique.

A quel titre intervient-elle dans la formule de l'énergie cinétique ? A titre de mesure du pouvoir d'action dont elle exprime exactement la quantité.

Ainsi en est-il de ce que M. Ostwald appelle énergies de surface, de volume, de forme, d'étendue.

Il résulte de ces considérations que, s'il y a dans la nature matérielle de vrais éléments dynamiques, telles la chaleur, la pesanteur, l'électricité, etc., il y en a d'autres dépourvus, au contraire, de toute activité, mais liés intimement aux premiers dont ils conditionnent l'action, ou tout au moins, en mesurent soit la quantité, soit l'intensité.

Ainsi compris, le dynamisme du monde matériel est un dynamisme modéré, où se côtoient constamment la passivité et l'activité, l'élément qualitatif et quantitatif.

Le terme « énergie » conserve assez d'élasticité pour envelopper l'ensemble de ces éléments divers, à condition toutefois d'attribuer à chacun d'eux son rôle naturel, c'est-à-dire, aux uns un pouvoir dynamique, à d'autres le rôle de mesurer ce pouvoir, à d'autres enfin celui d'en conditionner l'activité.

En réalité, toutes les propriétés, sans exception, remplissent à l'égard de la dynamique de l'univers, l'une ou l'autre de ces fonctions.

224. L'énergétisme est un dynamisme exagéré. — A l'encontre de ces faits, certains énergétistes regardent l'ensemble des réalités corporelles comme autant d'éléments *constitutifs* des pouvoirs dynamiques de la nature, ce qui conduit, avons-nous dit, à un dynamisme absolu.

Or, rien n'autorise pareille conception, ainsi que le prouve l'examen des preuves invoquées en faveur de cette théorie.

---

(617) OSTWALD, *L'énergie*, p. 163. Paris, Alcan, 1910.

Tout corps solide, dit-on, a une forme déterminée. Si on le soumet de tous côtés à une pression, son volume diminue d'une quantité très petite, sans doute, mais cependant mesurable. Si l'on fait cesser la pression, il reprend son volume primitif. Le corps solide possède donc une véritable *énergie de volume*. En effet, pour changer le volume du corps, il faut dépenser du travail, et lorsque le corps reeprend son volume primitif, il cède exactement autant de travail qu'il en a absorbé précédemment. La pression est le facteur d'intensité de l'énergie de volume ,la grandeur du volume est le facteur de quantité (618).

Que vaut cet argument ?

Qu'il faille exercer une pression sur un corps solide pour en diminuer le volume, c'est un fait incontestable. Mais quelle conclusion tirer de ce fait ?

Deux hypothèses s'offrent à nous.

Ou bien le volume comme tel constitue une énergie, un vrai pouvoir dynamique.

Ou bien le volume n'est ni une force, ni une énergie ; mais pour en conserver la grandeur, le corps possède des forces de résistance qu'on ne peut vaincre sans travail.

Les énergétistes semblent admettre la première hypothèse. De quel droit ? L'étendue appartient à la quantité continue permanente ; elle prend le nom de volume réel, lorsqu'on la considère à l'état concret où elle est toujours douée d'une triple dimension. A raison de son étendue, le corps est simplement répandu dans l'espace, ou plutôt, il y occupe une place. Or, cette idée d'étendue n'exprime aucune activité quelconque, ni du corps sur lui-même, ni du corps sur ses congénères ; elle désigne un état, sans plus.

D'autre part, on comprend que sans être lui-même une énergie, le volume apparent requiert, pour maintenir son intégrité, la mise en œuvre de certaines forces de résistance ; il est en effet fonction des forces attractives et répulsives qui s'exercent entre les particules constitutives du corps, et aussi de la pression du milieu.

Toutefois, redisons-le, ces énergies tutélaires de l'intégrité du volume ne s'identifient pas plus avec lui que la police ne s'identifie avec la maison qu'elle protège.

En second lieu, la grandeur du volume, dit-on, est un facteur de quantité, et de ce chef, elle constitue un élément essentiel de l'énergie.

Ici réapparaît la même confusion. Si l'on veut comprimer un

(618) OSTWALD, *L'énergie*, p. 115. Paris, Alcan, 1910.

volume, la dépense de travail doit être d'autant plus grande que le volume est plus considérable.

Suit-il de là que le volume est de l'énergie ?

Nullement, le fait s'explique avec la même facilité, si la grandeur quantitative du volume mesure la grandeur quantitative des forces contenues dans ce volume. Dans un corps homogène, par exemple, il est naturel que la quantité des forces attractives et répulsives répandues de la même manière sur toute la masse du corps, soit proportionnelle à la grandeur du volume, bien que ces forces en diffèrent essentiellement.

Le volume, on le voit, ne constitue ni l'intensité, ni la quantité d'aucune énergie ; il nous permet seulement de mesurer la grandeur quantitative des forces de résistance qu'il contient.

Le dynamisme professé par les énergétistes accorde donc à la nature matérielle un pouvoir dynamique exagéré, ou plutôt il étend ce pouvoir à de nombreuses propriétés qui en sont réellement dépourvues (619).

225. Critique du principal argument de M. Ostwald. — On donne, dit-il, le nom de matière à tout ce qui se révèle à nos sens comme un complexus de trois propriétés fondamentales, inséparables : l'étendue, le poids et la masse. Or, ces trois propriétés sont trois facteurs d'énergie dont l'union est indispensable pour que les réalités de ce monde puissent constituer les objets de notre expérience. Dépouillé de son étendue, le corps devient imperceptible ; privé de sa masse, il prendrait une vitesse infinie sous l'influence de la peus petite impulsion mécanique ; dépourvu de poids, il ne pourrait rester à la surface du sol. Avec pareil corps, nous n'aurions plus de relation possible.

Si donc ces trois propriétés représentent le contenu intégral de la notion de matière, si d'autre part, ces mêmes propriétés sont des facteurs ou éléments constitutifs de l'énergie, la matière est, d'évidence, un élément de superfétation (620).

Telle est la conclusion du savant allemand, tel est l'unique argument dont il se réclame.

Nous venons de voir ce qu'il faut penser de la conception dynamique de ces trois propriétés fondamentales, l'étendue, le poids et la masse, quelles importantes réserves il y a lieu d'y apporter.

Examinons donc l'essai de démonstration tenté par M. Ostwald.

---

(619) Voir d'autres critiques chez MEYERSON, *Identité et réalité*, pp. 387 et suiv. Paris, Alcan, 1912.

(620) OSTWALD, *L'énergie*, pp. 163-169. Paris, Alcan, 1910. *L'évolution d'une science*, pp. 431 et suiv. Paris, Flammarion, 1909. — *Vorlesungen über Naturphilosophie*, S. 167-170, 173, 238, etc... Leipzig, Veit und Comp. 1902.

Nous le concédons volontiers, nos relations sensibles avec les corps disparaîtraient si les trois propriétés mentionnées n'étaient constamment et indissolublement unies. Ce fait est péremptoirement établi par l'auteur de l'énergétique.

Seulement, il reste une question préalable et de toute première importance à résoudre, savoir : pourquoi et comment ces propriétés, dont l'indissoluble union conditionne notre connaissance sensible des corps, sont-elles, en réalité, toujours unies ? Quel est le lien qui les attache les unes aux autres ?

M. Ostwald ne se pose point cette question et ne veut même pas qu'on la soulève (621). Nous ne pouvons percevoir, dit-il, que les espaces où ces trois énergies se trouvent groupées.

D'accord ; cependant le fait de leur indissoluble union, n'étant ni passager ni accidentel, mais permanent et universel, demande une cause appropriée. Cette cause, cette raison explicative n'est-ce pas précisément la substance matérielle qu'on prétend éliminer ? Considérez, en effet, la masse, le volume, le poids comme des manifestations naturelles d'un même fond substantiel, et vous concevrez non seulement pourquoi ces propriétés sont groupées, mais aussi pourquoi elles doivent l'être. La substance les exige, parce qu'elle en est la source et l'origine.

En dehors de cette hypothèse, quelle raison invoquer ? Nous n'en voyons pas.

Il y a plus ; l'hypothèse de la substance sort du domaine des hautes probabilités pour devenir une certitude, dès qu'on rend au concept de la matière toute son ampleur.

Le savant allemand lui donne pour contenu l'étendue, la masse et le poids ; l'expérience, elle, y découvre des richesses autrement variées.

A ce concept de matière correspond, en effet, un groupement très complexe de propriétés : les unes d'ordre mécanique, notamment la masse, le poids, l'étendue, les forces attractives et répulsives ; les autres d'ordre physique, tels l'électricité, le magnétisme, la lumière, la chaleur ; d'autres, enfin, se rangent sous le nom générique d'affinité chimique.

Or, ce faisceau de propriétés si variées, toujours indissolublement unies entre elles, si solidaires les unes des autres qu'elles constituent pour chaque corps un signalement infaillible, pareil faisceau, disons-nous, n'est-il pas un signe révélateur certain de la substance matérielle ? Supprimer cette source substantielle commune

---

(621) OSTWALD, *Vorlesungen über Naturphilosophie*, S. 181. Leipzig, Veit und Comp. 1902. « Die Sache liegt also nicht, dass man fragen muss : Warum kommen diese verschiedenen Energien immer in denselben begrenzten Räumen von Körpern zusammen vor ? Sondern man muss sagen : nur von den Räumen wo sie zusammen vorkommen, haben wir Kunde ».

pour attribuer à chacune des propriétés une existence indépendante, n'est-ce pas s'interdire toute explication du lien constant qui les unit, des caractères spéciaux qu'elles revêtent dans chaque espèce de corps ?

Au surplus, il faut bien choisir : ou n'admettre pour chaque corps qu'une substance et considérer toutes les propriétés comme autant de modalités ou d'aspects objectifs de cette substance ; ou substantialiser chacune des qualités corporelles et leur accorder une existence isolée, ce qui est condamné par l'expérience.

226. Conclusions auxquelles conduit cet examen critique. — En réalité, au lieu de conduire à la suppression de la matière, l'énergétique bien comprise nous aide à la connaître. Elle nous montre que notre connaissance du monde sensible est conditionnée par le groupement indissoluble d'un certain nombre de propriétés. Du même coup, elle nous invite à rechercher la cause de ce groupement persistant à travers les vicissitudes de la matière, et ainsi nous conduit à la cause substantielle dont ces énergies sont les instruments naturels.

Avec une précision remarquable, elle a mis aussi en relief les facteurs qui interviennent dans chaque espèce d'énergie, l'un, le facteur de quantité, l'autre, le facteur d'intensité. En fait, ces éléments énergétiques ramenés à leur véritable rôle, expriment fidèlement les divers aspects de la matière et nous font même soupçonner la dualité de ses principes constitutifs : l'un, principe de quantité, d'extension, de passivité ; l'autre, principe d'activité ou même d'intensité.

Enfin, la théorie nouvelle nous met en garde contre l'identification de l'énergie et de la force. La raison en est que, pour ranger sous le concept d'énergie toutes les réalités de ce monde, elle doit étendre le sens vulgaire et obvie de ce mot, qui, pour tous, est synonyme du pouvoir dynamique. Ainsi élargi, il comprend non seulement les qualités actives, les forces vraies de la matière, telles l'électricité, la chaleur, etc., mais des réalités dépouvues de toute causalité efficiente, aptes cependant, soit à conditionner l'exercice des forces, soit à en donner la mesure, notamment, l'espace, l'étendue, la quantité. Elle exagère sans doute le rôle de ces dernières propriétés en en faisant des constitutifs du pouvoir dynamique ; par contre, elle confirme l'une des doctrines les plus essentielles du thomisme : savoir, que malgré la diversité et l'opposition parfois apparente de ses propriétés, chaque être matériel forme un tout naturellement destiné à l'action.

En somme, nous retrouvons sous le concept d'énergie tout

le contenu de notre vieux concept de matière (622). Pour nous, en effet, redisons-le, la matière est un tout complexe, riche en éléments qualitatifs et quantitatifs, en principes d'action et en éléments dépourvus par eux-mêmes de tout pouvoir dynamique ; en éléments passifs et actifs, intimement liés entre eux et appelés pour ce motif à intervenir à des titres divers dans toute activité corporelle.

Le dualisme entre l'énergie et la matière que le savant allemand combat avec une extrême violence, est donc un dualisme absolument étranger à la théorie scolastique. Les concepts d'énergie et de matière sont même si peu opposés, qu'ils peuvent se substituer l'un à l'autre, pourvu qu'on donne à l'énergie sa vraie signification ; quant aux deux facteurs énergétiques, on les retrouve aussi bien dans le fond substantiel que dans l'ensemble des propriétés.

M. Ostwald, il est vrai, dépeint la matière sous des traits qui semblent exprimer un véritable dualisme : « A l'exemple d'Aristote, dit-il, on se représente d'habitude la matière comme une chose indifférente, dépouvue par elle-même de propriétés et sur laquelle les propriétés en question sont fixées de quelque manière spéciale. Une pareille conception était peut-être nécessaire tant qu'on regardait les propriétés comme quelque chose de fortuit ou d'arbitraire qui aurait aussi bien pu être tout différent » (623).

Quoi qu'en pense le savant allemand, cette conception n'est ni d'Aristote, ni des scolastiques ; elle caractérise le mécanisme cartésien.

L'homogénéité de la matière, son essentielle passivité, son indifférence absolue à l'égard de ses propriétés réduites au mouvement local, tel fut toujours le dogme fondamental de ce système.

Au contraire, la clef de voûte de la théorie aristotélicienne est l'hypothèse des natures spécifiques suivant laquelle la substance est le principe et la source de toutes ses propriétés (624).

L'opposition peut-elle être plus radicale ?

227. Troisième erreur provenant d'une fausse conception de l'énergétique : conception moniste de l'univers. — Abordons enfin une dernière conséquence que certains auteurs ont tirée de l'énergétique, savoir, la conception moniste de l'univers.

Le concept d'énergie s'étend à tous les phénomènes de ce

---

(622) Pour M. Etard, les concepts de matière et d'énergie sont indissolublement liés par nous au point que la suppression de l'un entraîne la disparition de l'autre. — Cfr. ETARD, *Les nouvelles théories chimiques*, p. 12. Paris.

(623) OSTWALD, *L'énergie*, p. 170. Paris, Alcan, 1910.

(624) Nous exposerons cette théorie dans le second volume.

monde. Les formes de l'énergie sont nombreuses et se distinguent nettement les unes des autres. Qui nous dit cependant qu'une seule et même réalité fondamentale ne puisse revêtir des aspects divers ? L'univers entier ne serait-il pas une énergie répandue dans l'espace et le temps, ou plutôt comprenant dans son unité synthétique l'espace et le temps ? Les formes variées que nos sens nous représentent ne sont-elles pas les phases successives de la transformation continue que subit l'énergie, sans cesser d'être elle-même, sans perdre son essentielle unité ?

Telle est l'opinion moniste professée par M. Ostwald : « La substance, dit-il, ou la chose qui existe, c'est l'énergie. L'accident ou la chose qui est différenciée, c'est encore l'énergie... L'énergie comprend donc tout le réel » (625)

228. Fait dont se réclame ce monisme. — Le savant allemand n'en invoque qu'un seul : la transformation des énergies les unes dans les autres, transformation réglée elle-même par la loi de la conservation de l'énergie.

« La possibilité, dit-il, d'une pareille « description » de la nature ne put être imaginée que lorsqu'eut été découverte la propriété générale que possèdent les différentes formes d'énergie, de pouvoir se transformer les unes en les autres » (626). A cette condition seulement peut se concevoir la persistance d'une même réalité fondamentale à travers ses multiples métamorphoses.

Cet essai de preuve soulève deux questions :

Cette transformation est-elle, comme l'insinue M. Ostwald, un fait scientifique ?

Dans l'affirmative, implique-t-elle la conséquence qu'on en tire ?

229. Les physiciens considèrent-ils la transformation réciproque des énergies comme un fait indiscutable ? — D'abord, nul homme de science n'oserait, croyons-nous, élever à la hauteur d'un dogme ou d'une vérité scientifique la transformation réciproque des forces ou énergies.

Bon nombre de physiciens, notamment Hirn (627), M. Duhem (628), M. Lebon (629), L. Poincaré (630), M. Picard (631),

---

(625) OSTWALD, *Vorlesungen über Naturphilosophie*, pp. 146, 147, 377. Leipzig, Veit und Comp., 1902.

(626) OSTWALD, *L'énergie*, p. 119. Paris, Alcan, 1910.

(627) HIRN, *Analyse élémentaire de l'univers*, pp. 326 et suiv. Paris, Gauthier, 1868.

(628) DUHEM, *L'évolution de la mécanique*, pp. 344 et suiv. Paris, Joannin, 1903. — *La théorie physique, son objet et sa structure*, pp. 56, 57 et passim. Paris, Chevalier et Rivière, 1906.

(629) LEBON, *L'évolution des forces*, p. 65. Paris, Flammarion, 1908.

(630) L. Poincaré, *La physique moderne*, p. 66. Paris, Flammarion, 1909.

(631) PICARD, *La science moderne et son état actuel*, p. 130. Paris, Flammarion, 1910.

M. Mach (632) lui-même et M. Boutroux (633) considèrent comme très discutable ou même gratuite l'hypothèse de la transformation mutuelle des énergies.

L'accord entre les physiciens est donc loin d'être établi. La cause de ces hésitations se laisse facilement devenir : il ne s'agit plus d'un simple fait, mais de l'interprétation d'un fait. En réalité, les phénomènes se succèdent les uns aux autres de manière que l'un compense toujours exactement l'effacement de l'autre; mais l'expérience ne nous dit point quelle relation il faut établir entre les deux : l'un se substitue-t-il à l'autre ? L'un se transforme-t-il en l'autre ? Ou enfin, l'un produit-il l'autre à ses dépens ? Du point de vue purement scientifique, ces trois hypothèses sont admissibles : elles expliquent d'une manière suffisante la loi d'équivalence qui régit la succession des formes d'énergie.

Il est donc arbitraire de choisir avec M. Ostwald, et cela en vue de justifier le monisme, l'hypothèse des transformations mutuelles.

230. La transformation réciproque des énergies est une hypothèse inintelligible. — Bien plus, à l'examiner dans ses détails, cette hypothèse nous paraît même inintelligible.

Prenons un exemple. L'énergie gravifique, dit-on, peut se transformer en chaleur. Ainsi que le prouvent les célèbres expériences de Joule, la chute d'un poids de 425 kilogr., placé à la hauteur d'un mètre, peut élever d'un degré la température d'un kilogramme d'eau. Or, quels sont, dans cette énergie gravifique, les éléments susceptibles de se transformer en énergie gravifique, les éléments susceptibles de se transformer en énergie calorifique ?

Est-ce le poids du corps suspendu dont la chute produira la chaleur ? Nullement. Le corps conserve son poids, aussi bien au contact du sol que dans la position immobile où il était retenu.

Est-ce la distance qu'il va parcourir en tombant ? La distance n'est qu'une simple relation entre deux situations spatiales. Que l'on suppose entre ces deux termes le vide absolu ou un milieu matériel, la distance reste identique à elle-même. Quelle est donc dans cette relation de distance la réalité transformable ? On n'en voit aucune.

Est-ce peut-être la vitesse avec laquelle le corps franchira cette distance ? Pas davantage. La vitesse est une relation entre l'espace parcouru et le temps consacré à le parcourir. C'est un mode de succession de positions spatiales. On se demande donc avec raison, quel est, de ces deux termes de la relation, espace et temps, celui qui peut se transformer en chaleur ?

---

(632) Mach, *La mécanique*, p. 470. Paris, Hermann, 1904.

(633) Boutroux, *La contingence des lois de la nature*, p. 67. Paris, Alcan, 1895.

Est-ce enfin le mouvement local dont le corps est animé au terme de sa chute ? Quelle que soit la réalité du mouvement, il est clair qu'il aura complètement disparu au moment où le corps reposera sur le sol. D'autre part, avant cet instant, le corps n'a rien pu transmettre de son mouvement passé, pour le motif que toutes les positions antérieures, constitutives de ce mouvement, avaient été successivement abandonnées sans retour.

Analysez tous les facteurs de l'énergie gravifique, poids, mouvement, espace, vitesse, vous n'en trouverez aucun qui puisse, moyennant certaines métamorphoses, constituer l'énergie calorifique.

Et cependant, s'il s'est produit une transformation et non une création, il faut bien que, sous les modalités propres à la chaleur, se retrouvent intégralement conservés certains éléments d'énergie ayant appartenu à l'énergie de gravitation.

A notre avis, la transformation de pareils éléments est une chimère. La vérité est que, d'une part, on mesure l'intensité et la qualité de la pesanteur au moyen de facteurs qui sont distincts d'elle ou qui peut-être la conditionnent, tels l'espace, la vitesse, le temps, et que, d'autre part, la pesanteur provoque par son action l'éveil d'une autre force équivalente, par exemple, la chaleur dont on exprime aussi l'intensité et la qualité par des étalons étrangers à cette force, à savoir, un poids d'eau et une hauteur thermométrique. Mais toute action étant toujours suivie d'une réaction égale et contraire, la cause excitatrice s'efface et disparaît dans la mesure où l'autre se développe.

231. L'hypothèse des transformations énergétiques, fût-elle même fondée, n'emporterait pas encore avec elle la preuve du monisme. — La chimie nous donne à ce sujet de précieux renseignements L'hydrogène et l'oxygène constituent des espèces chimiques nettement différenciées. Par leur combinaison, ils se transforment en une espèce nouvelle qui est l'eau. A son tour, sous l'influence de la chaleur ou du courant électrique, l'eau se transforme en ses éléments générateurs, l'hydrogène et l'oxygène. Dans ces deux cas, il se produit une véritable transformation d'espèces chimiques.

Or, supposez que les deux corps simples, l'hydrogène et l'oxygène, soient deux êtres de nature distincte, *deux substances* indépendantes ; supposez encore que l'eau, en laquelle ils viennent se fondre, soit un *troisième être* essentiellement différent des corps dont il résulte. Pareilles suppositions ne seront-elles pas conciliables en tous points avec l'hypothèse des transformations mutuelles ? Assurément. Notre intelligence n'éprouve aucune difficulté à concevoir cette fusion, au terme d'un travail de nivelle-

ment, de deux corps hétérogènes en un corps nouveau qui soit leur substitut. Au contraire, la transformation revêt un sens bien plus profond et plus vrai, lorsqu'elle se réalise aux dépens de diverses substances.

Si donc la substitution d'une pluralité d'êtres à la substance unique des énergétistes, se concilie sans peine avec la loi des vicissitudes de la matière, la théorie moniste ne peut être qu'une théorie gratuite et arbitraire.

D'ailleurs, les faits d'expérience interne et externe condamnent la réduction de tous les êtres à la substance unique et universelle de l'énergétisme.

Parmi les faits qui s'imposent à notre conscience, il n'en est point de plus impérieux que le sentiment de notre individualité, de notre personnalité. Toutes nos actions, qu'elles se déroulent dans la partie matérielle de notre être, ou qu'elles se manifestent dans la sphère plus élevée de l'intelligence et de la volonté, sont rapportées, et cela en vertu d'une loi à laquelle il nous est impossible de nous soustraire, à ce moi individuel et personnel qui est le nôtre. Non seulement notre conscience distingue notre être de tous les autres ; elle l'oppose à tous ses congénères comme un bien privé, intangible, inaliénable.

Si, d'autre part, nous jetons les regards sur le monde qui nous entoure, nous découvrons aussi, sous le terme collectif de nature, une multitude de centres d'activité indépendants, doués chacun de tous les caractères d'une substance individuelle. Chaque corps, en effet, possède ses tendances particulières, ses modes d'action. Tandis que les uns subissent des métamorphoses profondes, les autres restent figés dans une immobilité complète et témoignent d'une indifférence absolue à l'égard des mouvements de leur voisinage. Tels semblent concerter leurs activités dans la poursuite d'un même but, tels autres se livrent à une lutte incessante dont l'aboutissement final est la réalisation d'êtres nouveaux aux dépens d'êtres disparus.

Bref, sur le vaste champ de la nature, les rapports mutuels des agents physiques, comme aussi l'ensemble de leurs traits respectifs demeurent inexplicables, si chacun de ces agents ne jouit pas d'une vraie individualité substantielle.

232. Origine de ce monisme. — Quelle peut donc être l'origine de pareil monisme, si manifestement opposé aux données de l'expérience ? (634).

Il provient, croyons-nous, d'une confusion entre l'ordre idéal

---

(634) « Attribuer à l'énergie, dit M. Bouty, une essence propre, en faire une sorte d'être réel, c'est outrepasser l'expérience. Aucune considération philosophique ne peut élargir une notion expérimentale au delà de sa définition. » *La vérité scientifique*, p. 272. Paris, Flammarion, 1908.

et l'ordre réel. Pour avoir groupé sous un même terme « énergie » toutes les réalités de l'univers, on s'est imaginé que l'unification ou la réduction à l'unité, faite dans le concept, s'était du même coup réalisée dans le monde externe. En d'autres termes, on a cru que toute représentation intellectuelle doit être le décalque fidèle du réel expérimental et que toutes les propriétés de l'une se trouvent intégralement dans l'autre. Telle est l'erreur primordiale du monisme énergétique (635).

La vérité est tout autre. Bien qu'objectif, le concept a pour caractère propre et essentiel de représenter les choses réelles d'une manière abstraite, c'est-à-dire sans ces multiples notes individuelles qui particularisent les êtres, les distinguent les uns des autres et ainsi les multiplient et même parfois les spécifient.

233. Relations entre l'énergétisme et le dynamisme ordinaire. — Nous avons examiné les différents aspects cosmologiques de l'énergétisme. Peut-être ne sera-t-il pas sans intérêt de nous demander quelles relations il y a lieu d'établir entre ce dynamisme nouveau et la conception de la nature érigée autrefois en système dynamique par Leibniz, Boscowich, Kant, Hirn, Palmieri, Carbonnelle, etc.

Si on néglige les divergences d'ordre secondaire, le dynamisme philosophique dont nous venons de nommer les représentants les plus autorisés, se résume en quelques propositions :

1° Toutes les réalités cosmiques sont essentiellement destinées à l'action ; elles constituent des pouvoirs dynamiques, c'est-à-dire des forces.

2° Ces forces sont simples, inétendues, mais par leur action simultanée sur nos organes sensoriels, elles produisent en nous l'illusion de l'étendue.

3° Une conséquence nécessaire du système est l'action à distance. Il est clair que des éléments simples, non composés de parties, ne peuvent se toucher sans se confondre en un point mathématique. Sous peine de supprimer l'étendue même phénoménale, il faut donc les supposer à distance les uns des autres, hypothèse qui rend impossible l'action au contact.

Il y a cependant des dynamistes qui se refusent à admettre ce mode d'activité, préférant sacrifier la logique aux enseignements de l'expérience.

Or, de ces trois principes, le premier, seul, caractérise l'énergétique.

Sans doute, les énergétistes s'abstiennent de porter un juge-

---

(635) F. Klimke, *Der Monismus und seine philosophischen Grundlagen*, S. 107. Herder, Freiburg im Breisgau, 1911. « Die Einheitlichkeit, dit-il, ist nur im Gebrauche des Wortes « Energie » ; im Grunde gibt es so viele Energienformen, als wir Erscheinungen in der Natur beobachten. »

ment sur la nature même de l'énergie, et se bornent à en décrire quelques propriétés en apparence expérimentales, notamment son caractère positif, sa transformabilité, sa conservation en dépit des changements dont elle est le sujet. Il reste indéniable qu'ils attribuent à tous les modes d'énergie un pouvoir dynamique sinon actuel, au moins conditionnel, dont font partie les éléments les plus disparates, tels la pesanteur, l'espace, le volume, l'étendue, la chaleur, etc.

De ce point de vue, l'accord avec l'ancien dynamisme est donc complet : pour les deux systèmes, l'univers est un foyer de principes d'activité.

Quant aux autres idées principielles, il existe entre les deux théories des différences profondes.

Selon le dynamisme ancien, toutes les forces ou pouvoirs dynamiques sont simples, inétendus. Pareille affirmation ne se rencontre, ni en fait ni en droit, dans l'énergétique.

D'abord nul, à notre connaissance, n'a tenté de déterminer la manière d'être des facteurs intensifs ou quantitatifs de l'énergie. Ces facteurs sont-ils simples, sont-ils disséminés dans l'espace ? Cette question, la théorie nouvelle s'interdit de la soulever, à plus forte raison, de la résoudre.

Dira-t-on qu'à défaut de toute affirmation explicite, l'idée même de force ou de pouvoir dynamique emporte avec elle l'idée de simplicité et partant nous indique quelle doit être l'attitude des énergétistes à l'égard de l'étendue ?

Tel n'est pas notre avis. Le concept de « force » nous représente uniquement une énergie capable de produire certains effets ; mais, comme tel, il ne nous révèle pas le mode d'être naturel suivant lequel ce pouvoir d'action se trouve réalisé. Que la force existe sous forme d'un point mathématique, qu'elle occupe une portion déterminée de l'espace, son concept n'en est pas moins étranger à toutes ces relations spatiales. De là son aptitude à désigner des énergies réellement étendues, telles les forces physiques, soit à exprimer des forces d'une nature éminemment simple, entre autres, l'intelligence et la volonté.

Le second principe du dynamisme ancien n'est donc pas une conséquence nécessaire du premier. Aussi, sans renoncer à l'idée maîtresse de leur théorie, les énergétistes peuvent, d'après leur préférence personnelle, douer d'étendue leurs éléments dynamiques, ou en affirmer la simplicité.

Quelle est enfin leur attitude à l'égard de l'action à distance, troisième principe du dynamisme ?

A raison de leur méthode, les énergétistes n'ont pas à se soucier du mode d'activité des diverses énergies.

De même qu'il leur est permis, en restant fidèles à la doctrine

fondamentale de leur théorie, d'attribuer l'étendue aux facteurs d'énergie, ainsi il n'y a pour eux aucun illogisme à se déclarer les adversaires convaincus de l'action à distance. Les dynamistes, nous l'avons dit, n'ont point cette liberté. Une fois posé le principe de l'inétendue des forces, la logique même des choses les force à se prononcer pour l'impossibilité de l'action au contact.

En résumé, on ne découvre entre l'énergétique et le dynamisme qu'une seule idée commune : la conception dynamique de l'univers, conception d'après laquelle toutes les réalités corporelles sont des éléments intégrants ou constitutifs de l'énergie ou d'un pouvoir d'action. Les questions relatives à l'étendue et au mode d'activité des agents matériels, étrangères d'ailleurs aux préoccupations des énergétistes, peuvent même recevoir une solution opposée à celle des dynamistes.

234. Jugement général sur l'énergétique. — Au terme de cette étude critique, fixons rapidement les conclusions générales qui s'en dégagent.

Du point de vue cosmologique, la théorie nouvelle consacre plusieurs doctrines importantes qui avaient été méconnues ou même combattues, jusqu'en ces derniers temps, par la plupart des hommes de science.

A citer d'abord la restauration de la qualité : celle-ci reprend sa place à côté de la quantité et devient même le principal objet de la physique.

Ensuite, la physique voit se resserrer les frontières de son domaine ; laissant à d'autres disciplines l'étude de la substance, elle ne comprend plus que l'objectivité phénoménale. De la sorte, une ligne de démarcation très nette se trouve tracée entre la cosmologie et les sciences naturelles.

Il est cependant regrettable, qu'après avoir si bien délimité sa sphère d'action, l'énergétique n'ait pas embrassé, sous tous ses aspects, son objet naturel. Elle se propose de nous donner une classification commode et même objective des phénomènes ; par contre, elle s'interdit toute recherche sur leur nature. Qui ne voit combien ce second point de vue est complémentaire du premier ?

Si l'énergétique présente de sérieux avantages, elle a aussi ses inconvénients et ses défauts.

Le plus grave est de nous représenter l'univers sous la forme d'un dynamisme absolu, qu'il eût été cependant si facile d'éviter, sans sacrifier en rien la méthode, les tendances et les résultats scientifiques de la théorie nouvelle. Au lieu d'attribuer à toutes les réalités cosmiques l'unique rôle de constituer l'énergie, il eût suffi, pour mettre le système à l'abri de toute critique, de diversifier les rôles d'après la nature des phénomènes ou des propriétés

corporelles. En effet, tandis que certaines propriétés se révèlent comme de vrais éléments énergétiques, d'autres en sont des mesures naturelles, d'autres encore conditionnent et règlent leur activité. Grâce à ce correctif, les formules de l'énergie peuvent rester inchangées, mais avec le nouvel avantage de s'adapter à la réalité.

Enfin, chez plusieurs de ses partisans, l'énergétique s'est transformée lentement en phénoménalisme et en monisme. Ces conceptions philosophiques ont le triple défaut, d'abord, d'être en contradiction avec la méthode carctéristique du système qui exclut toute hypothèse ; en second lieu, de se surajouter aux idées principielles de l'énergétique comme des éléments étrangers et complètement inutiles ; enfin, de ne pouvoir se réclamer ni des sciences, ni de la philosophie.

Il est donc vivement souhaitable que la théorie nouvelle se débarrasse au plus tôt de ces surcharges compromettantes et revienne à une conception de l'énergie plus conforme aux données expérimentales, partant plus féconde.

CONCLUSION GENERALE DE CE TRAITE

Quelles sont les principales conclusions qui se dégagent de ce travail ?

L'étude scientifique et métaphysique du mécanisme semble mettre hors de doute, que l'hypothèse d'une matière homogène, animée de mouvement local et régie par les lois de la mécanique, est insuffisante à rendre compte des faits d'ordre chimique, physique et cristallographique.

L'ordre admirable qui régit cet ensemble de faits, ordre réalisé par un nombre incalculable d'agents les plus divers, dont chacun cependant se représente toujours, après les métamorphoses les plus étonnantes, avec sa physionomie propre et la totalité de ses caractères distinctifs, cet ordre si complexe, et à la fois si stable et si harmonieux, ne se comprend plus, s'il n'y a pas dans l'univers de véritables natures, c'est-à-dire des principes essentiels d'orientation, de spécification et de constance.

Admettre l'*homogénéité foncière de la matière,* c'est s'interdire à tout jamais l'explication de cette diversité d'agents chimiques si remarquables par la spécificité constante de leurs poids, de leurs affinités électives, de leur atomicité, de leur signalement physique et cristallographique ; c'est prétendre trouver dans l'homogène la raison de l'hétérogène.

Veut-on faire appel au *mouvement d'emprunt* dont le mécanisme a doté la matière ?

La difficulté reste entière. Quoi de plus mobile et de plus changeant que le mouvement ? Et puis, eût-on réduit toutes les propriétés au mouvement local, n'est-ce pas tout juste ce faisceau de mouvements divers que nous nommons les qualités d'un corps, qu'il s'agit d'expliquer ? Pourquoi tel faisceau est-il toujours lié à telle quantité de matière ? Pourquoi se distingue-t-il toujours de tel autre par sa qualité, par son intensité, par son mode d'agir ? Pourquoi ce retour invariable des mêmes espèces ? Comment se fait-il qu'à travers les transformations incessantes de la matière, les corps simples et composés ne disparaissent momentanément au sein de la mêlée, que pour reproduire toujours fidèlement les types disparus ?

Ces problèmes se posent au sujet du mouvement comme ils se posaient au sujet des qualités, avec cette différence que l'insta-

bilité essentielle du mouvement rend plus inintelligible encore la stabilité, la perpétuité du fait signalé.

Force nous est donc de substituer au dogme mécaniste de l'homogénéité essentielle de la matière, l'hypothèse, d'ailleurs vraiment scientifique, de l'*hétérogénéité substantielle ;* de supposer dans le monde l'existence d'agents spécifiquement distincts les uns des autres, doués chacun d'une orientation foncière qui fixe d'avance la marche de leurs activités, les caractères de leurs unions chimiques, les conditions et les limites de leurs métamorphoses.

L'étude métaphysique du mécanisme nous a conduit à une autre conclusion non moins importante, savoir : la nécessité de dépouiller le mouvement local de cet ensemble de prérogatives que le mécanisme lui avait trop libéralement octroyées.

Comme le disait avec raison le physicien Hirn, « le mouvement ne saurait engendrer le mouvement ». Il relève de causes essentiellement distinctes de lui, de forces proprement dites, de *qualités* qui sont, de leur nature, stables et permanentes.

Bien plus, la réduction de ces virtualités aux *forces mécaniques,* préconisée par les partisans du mécanisme dynamique, nous a paru une mutilation des faits. La réalité que le témoignage de la conscience nous révèle et que l'énergétique elle-même admet en principe, cette réalité, disons-nous, est beaucoup plus complexe. A côté des forces mécaniques, il en est d'autres, dénommées à juste titre forces *physico-chimiques. Qualitativement distinctes* des premières comme elles sont distinctes entre elles, elles ont toutes des activités spécifiques et ne produisent le mouvement local qu'à titre secondaire ou concomitant.

Ce décor accidentel qualitatif, nous l'avons toujours trouvé indissolublement uni à un substrat substantiel, dont il partage fidèlement toutes les destinées. Or, pareille connexion ne semble-t-elle pas indiquer que ce faisceau d'énergies secondaires n'est lui-même qu'une *résultante* ou plutôt une sorte de canalisation d'une source unique, qui est la substance ?

Enfin, l'examen du dynamisme et de l'énergétique nous a donné l'occasion, non seulement de confirmer les conclusions précédentes, mais de légitimer notre croyance à l'*étendue réelle* de la matière.

En signalant les déviations de l'énergétisme scientifique, nous avons aussi rencontré le phénoménisme et le monisme dynamique, deux systèmes, dont l'un regarde la substance comme une entité chimérique, dont l'autre ne l'admet qu'à la condition de la réduire à une unité absolue.

Ni l'une ni l'autre de ces hypothèses n'a pu se concilier avec

les faits scientifiques et les principes les plus évidents de la métaphysique.

La diversité *numérique* et *substantielle* des êtres de la nature fut ainsi une nouvelle conclusion, et non des moins importantes, qui se dégage de cet examen.

D'autre part, bien que ces cinq grands systèmes cosmologiques, le mécanisme traditionnel, le néo-mécanisme et le mécanisme dynamique, le dynamisme et l'énergétisme, ne puissent nous fournir les causes explicatives de l'univers, ils contiennent cependant une âme de vérité.

Le *mécanisme cartésien* et le *néo-mécanisme* ont mis en lumière une vérité incontestable : le rôle considérable du mouvement local.

En fait, là où il n'est pas l'effet primordial des activités naturelles, il en est toujours un effet concomitant et souverainement utile. Grâce au mouvement local, les corps changent constamment leurs relations spatiales, les activités se transmettent, et ainsi se réalise et se renouvelle cet ensemble de scènes variées dont l'enchaînement constitue le cours de l'univers.

Le tort de ces systèmes fut d'exagérer ce rôle, d'éliminer les facteurs dont le mouvement lui-même relève, de confondre, en un mot, le mouvement et ses causes.

Le *mécanisme dynamique* eut aussi le grand avantage de réintroduire dans l'explication de la nature, le véritable élément causal qui en avait été banni par le mécanisme traditionnel, savoir, la force ou l'élément qualitatif.

Avec le *dynamisme* et l'*énergétisme*, l'univers nous apparaît comme un foyer d'activité et de vie. Les moindres réalités de la nature corporelle sont appelées à prendre part à l'action commune ; tout est fait pour agir. L'expérience journalière, les perpétuelles transformations dont le monde et nous-mêmes sommes le théâtre, le sentiment de l'effort qui accompagne chacune de nos activités personnelles ne sont-ils pas autant de faits qui proclament le bien fondé d'une conception dynamique du cosmos ?

Mais ici encore, l'erreur côtoyait la vérité et le dynamisme ne sut éviter l'exagération qui devait l'y conduire. Il est manifeste que, si la nature est pleine d'activité, elle l'est aussi de passivité, les deux termes étant même nécessairement corrélatifs. De même, si toute réalité matérielle peut faire partie d'un pouvoir dynamique, soit comme facteur de quantité, soit comme facteur d'intensité, toute réalité doit aussi y prendre place avec son caractère inaliénable, l'étendue.

En résumé, la discussion de ces nombreux systèmes semble nous conduire à cette conception générale : il y a des natures

dans l'univers, c'est-à-dire des êtres substantiellement et spécifiquement distincts les uns des autres, naturellement étendus, doués d'une inclination foncière vers des fins qu'ils réalisent par des puissances passives et actives.

C'est ce système, appelé *théorie aristotélicienne* ou *scolastique*, que nous nous proposons d'exposer et de justifier dans la seconde partie de notre travail.

BIBLIOGRAPHIE

ABBEG und BODLANDER (*Zeitschrift für anorganische Chemie*), B. XX, 1899.

ACHALME (Dr). L'atome, Paris, Payot, 1921.

ARISTOTE. De generatione et corruptione (Edit. Didot).

— Libri Physicorum seu naturalis Auscultationis (Edit. Didot).

ARRHÉNIUS. Conférences sur quelques thèmes choisis de chimie physique. Paris, Hermann, 1912.

— L'évolution des mondes. Paris, Béranger, 1910.

ASTON. Les isotopes. Paris, Hermann, 1923.

AUERBACH. Die Weltherrin und ihr Schatten, ein Vortrag über Energie und Entropie. Jena, Fischer, 1902.

BALFOUR-STEWART. La conservation de l'énergie. Paris, Germer Baillière, 1879.

BALMÈS. Philosophie fondamentale. Liége, Lardinois, 1853.

BAUER. Les quantités élémentaires d'énergie (*Les idées modernes sur la constitution de la matière.* Paris, Gauthier-Villars, 1913).

BEAULARD DE LENAIZON (*Rev. gén. des scieneces*, 30 janv. 1923).

BECQUEREL. La radioactivité (*Revue générale des Sciences*, 30 octobre 1924).

BERGSON. L'évolution créatrice. Paris, Alcan, 1908.

BERNARD (Claude). Leçons de physique générale. Paris.

BERTHELOT. Essai de mécanique chimique. Paris, Dunod, 1879.

— La synthèse chimique. Paris.

BERTHOLLET. Essai d'une statique chimique. Paris.

BERTHOUD. Les nouvelles conceptions de la matière et de l'atomes. Paris, Doin, 1923.

BEYSSENS. Naturphilosophie of Cosmologie. Amsterdam, Van Langenhuysen, 1910.

BLOCH. La théorie électronique des métaux (*Les idées modernes sur la constitution de la matière.* Paris, Gauthier-Villars, 1913).

BOHR. Les spectres et la structure des atomes, trad. franç. Corvisy, 1924.

BOISSOUDY. Les principes généraux de la classification chimique (*Rev. génér. des Sciences*, 15 Sept. 1921).

Boltzmann. Leçons sur la théorie des gaz, 1 vol. Paris, 1902.
Borel. Le hasard. Paris, Alcan, 1914.
Boscovich. Philosophiæ naturalis theoria. P. I. Viennæ, 1759.
Bouasse. Théories de la mécanique.
Boucher. Essai sur l'hyperespace. Paris, Alcan, 1905.
Boutroux. De l'idée de la loi naturelle. Paris, Société française d'imprimerie, 1913.
— De la contingence des lois de la nature. Paris, Alcan, 1895.
Bouty. La vérité scientifique. Paris, Flammarion, 1913.
Braun. Kosmogonie, Münster, Aschendorff, 1895.
Brauns. Minéralogie, Leipzig, 1897.
Brunhes. La dégradation de l'énergie. Paris, Flammarion, 1908.
Bruni. Feste Lösungen und Isomorphismus. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft, 1908.
Brusset. La nature des rayons X et la structure réticulaire des corps cristallisés (*Revue générale des Sciences*, 15 février 1913).
Bruylants. La valence chimique (*Revue des Questions scientifiques*, janvier, avril, juillet, octobre, 1912).
Büchner. Force et matière. Paris, Reinwald, 1884.
Carbonnelle. Les confins de la science et de la philosophie, t. I. Paris, Palmé.
Carnot (Sadi). Réflexions sur la puissance motrice du feu. 1824.
Cartesius. Principia philosophica, Amstelodami. P. II. T. Blaviana, 1682.
Cassirer. Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neuern Zeit, vol. II. Berlin.
Charousset. Le problème métaphysique du mixte (*Revue de philosophie*, 1903).
Chwolson. Traité de physique, t. I. Paris, Hermann.
Clausius. Théorie mécanique de la chaleur, t. II, Paris, Hetzel.
— Le second principe fondamental de la théorie mécanique de la chaleur (*Revue des Cours scientifiques*, 1868).
Curie (M^me^). Sur les rayonnements des corps radioactifs (*Les idées modernes*, Paris, Gauthier-Villars, 1913).
— Les radio-éléments et leur classification (*Revue du Mois*, 10 juillet 1914).
— L'isotopie et les éléments isotopes, Paris, Blanchard, 1924.
Daguin. Traité de physique, vol. I et III.
Dauriac. Des notions de matière et de force dans les Sciences de la nature. Paris, Alcan.
Davy. Œuvres, vol. II.

De Backer. Cosmologia. Paris, Briguet, 1899.
Debierne. Sur les transformations radioactives (*Les idées modernes*, Paris, Gauthier-Villars, 1913).
De Broglie. Atomisme et Dynamisme (*Annales de philosophie chrétienne*, mai et juillet 1885).
De Heen. Introduction à l'étude de la physique. La théorie des électrons. *Mémoires*, 15 janvier 1913 (Académie des Sciences, t. IV, 2e fascicule).
De Lapparent. La philosophie minérale. Paris, Bloud, 1910.
— Cours de Minéralogie. Paris, Savy, 1884.
— Atomes et molécules (*Revue des Questions scientifiques*, avril 1902).
De la Vaissière. Philosophia naturalis. Paris, Beauchesne, 1912.
De la Vallée-Poussin. Le temps et la relativité restreinte (*Rev. des q. sc.*), 1924.
Delbet. La science et la réalité. Paris, Flammarion, 1913.
De Saint-Robert, La nature de la force. Paris, Germer-Baillière, 1879.
De San. Cosmologia, Lovanii, Fonteyn, 1881.
De Thierry. Introduction à l'étude de la chimie. Paris, Masson, 1906.
De Wulf. Histoire de la philosophie médiévale. Paris, Alcan, 1912.
Ditte. Introduction à l'étude des métaux. Paris, Société d'études scientifiques, 1902.
Domet de Vorges. La Métaphysique en présence des Sciences.
Donat. Cosmologia. Œniponte, Pustet, 1913.
Dressel. Lehrbuch der Physik. Freiburg, 1895.
Du Bois-Reymond. Ueber die Grenzen des Naturerkennens.
— Untersuchungen über tierische Electricität. B. I. Berlin, 1888.
— Reden. Leipzig, 1886-1887.
Duclaux. La chimie de la matière vivante. Paris, Alcan, 1910.
Duhem. Physique de croyant (*Annales de philosophie chrétienne*, novembre 1905).
— La théorie physique, son objet, sa structure. Paris, Chevalier, 1906.
— Les théories électriques de Maxwell (*Revue des Questions scientifiques*, 20 janvier 1901).
— Physique et métaphysique (*Revue des Questions scientifiques*, juillet 1893).
— L'évolution de la mécanique. Paris, Joannin, 1903.
— La notion du mixte (*Revue de philosophie*, juin 1909).
— Le mixte et la combinaison chimique. Paris, Naud, 1902.
— Thermodynamique et chimie. Paris, Hermann, 1902.

— Le mouvement absolu et le mouvement relatif. Montligeon (Orne), 1909.
— Sur quelques extensions récentes de la statique et de la dynamique (*Revue des Questions scientifiques*, t. 50, avril 1901).
— Le système du monde, 2 vol. Paris, Hermann, 1914.
Du Ligondès. Formation mécanique du système du monde. Paris, Gauthier-Villars, 1897.
— Sur la formation du système solaire (*Revue générale des Sciences*, 30 mars 1912).
Dunan. La perception des corps (*Revue philosophique*, t. 53, 1902).
— La nature de l'espace (*Rev. de mét. et de mor.*, novembre 1912).
Einstein. L'éther et la théorie de la relativité, Gauthier-Villars, 1921.
— Sur le problème de la relativité (*Scientia*, 1914).
Etard. Les nouvelles théories chimiques. Paris.
Faraday. Recherches expérimentales, t. III.
Farges. L'idée du continu dans l'espace et le temps. Paris, Roger.
Faye. Sur l'origine des mondes. Paris, Gauthier-Villars, 1896.
Freycinet. Essai sur la philosophie des Sciences. Paris, Gauthier-Villars, 1910.
Ganot. Traité élémentaire de physique.
Gaubert. Les cristaux liquides (*Revue scientifique*, 9 janvier, 1909).
Gauthier. (*Revue scientifique*, 13 janvier 1904).
Gautier. Cours de chimie, 3 vol. Paris, Savy, 1887
Gerard. E. Leçons sur l'électricité, t. I. Paris, Gauthier-Villars, 1895.
Gossard. Le sens métaphysique de la loi de la conservation de l'énergie (*Rev. de philosophie*, septembre 1913).
— La notion péripatéticienne du mouvement (*Rev. philos.*, août 1914).
Gouy. Le mouvement brownien et les mouvements moléculaires (*Revue générale des Sciences*, 1 janvier 1895).
Gredt. Logica et philosophia naturalis. Friburgi, Brisgoviæ, Herder, 1909.
Green. La radiation naturelle d'un gaz (*Revue générale des Sciences*, 15 avril 1914).
Haeckel. Les énigmes de l'univers. Paris, 1902.
Hallez. L'analyse métaphysique du mouvement (*Revue néo-scolastique*, avril 1895.
Hannequin. Essai critique sur l'hypothèse des atomes. Paris, Alcan, 1899.
Hantzsch. Ber. der deutschen Chemie-Gesellschaft. B. II, 1908.
Hartmann. (*Philosophisches Jahrbuch*, 3. H. 1904).

HARTOG. Les récentes théories biologiques sur la mémoire (*Scientia*, vol. XV, n. 33-1, 1914).

HELMHOLTZ. Mémoire sur la conservation de la force. Paris, Masson, 1869.

— Populärwissenschaftliche Vorträge, vol. I.

HENRIQUEZ. Les concepts fondamentaux de la science. Paris, Flammarion, 1913.

HENRY. Précis de chimie. Louvain.

— Stas et les lois des poids. Bruxelles, Hayez, 1899.

HERTZ. Gesammelte Werke, vol. I. Leipzig. 1895.

HERZ. Les bases physico-chimiques de la chimie analytique. Paris, Gauthier-Villars, 1909.

HINRICHSEN. Ueber den gegenwärtigen Stand der Valenzlehre (*Sammlung chemischer und chemischtechnischer Vorträge ;* 1902).

HIRN. Analyse élémentaire de l'univers. Paris, Gauthier-Villars, 1868.

— Notion de la force dans la science moderne.

HÖFFDING. Philosophes contemporains. Paris, Alcan, 1908.

HOULLEVIGUE. La matière, sa vie et ses transformations. Paris, Colin, 1913.

— Revue annuelle d'optique (*Revue générale des Sciences*, 30 août 1914).

HUIT. La philosophie de la nature chez les anciens. Paris, Fontemoing, 1901.

HUTCHINSON. Chimie minéralogique (*Les progrès de la chimie en 1912*. Paris, Hermann, 1913).

JAHR. Urkraft oder Gravitation. Berlin, Enslin, 1899.

JAMIN. Cours de Physique, t. I et III.

JARKOWSKI. Hypothèse cinétique et la gravitation universelle. Moscou, 1888.

JOUFFRET. Introduction à la théorie de l'énergie. Paris, Gauthier-Villars, 1883.

KANT. Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft, Kritik der Urtheilskraft.

KAUFFMANN. Die Valenzlehre. Stuttgart, 1911.

KIRCHHOFF. Ueber das Ziel der Naturwissenschaften (trad. française).

KLIMKE. Der Monismus und seine philosophische Grundlage. Herder, Freiburg im Breisgau, 1911.

LAHOUSSE. Cosmologia. Lovanii, Peeters, 1896.

LAMINNE. Les quatre éléments, le feu, l'air, l'eau, la terre. Bruxelles, Hayez, 1904.

LANGEVIN. Les grains d'électricité (*Les idées modernes sur la constitution de la matière.* Paris, Gauthier-Villars, 1913).
— La dynamique électromagnétique (*Les idées modernes.* Paris, Gauthier-Villars, 1913).
— L'évolution de l'espace et du temps (*Revue de métaphysique et de morale,* juillet 1911).
— La théorie du rayonnement et les quanta. Paris, Gauthier-Villars, 1912.
LEBON. L'évolution de la matière. Paris, Flammarion, 1912.
— L'évolution des forces. Paris, Flammarion, 1908.
LECHALAS. Etude sur l'espace et le temps. Paris, Alcan, 1910.
LE CHATELIER. Comptes rendus (*Académie des Sciences,* t. 155, 8 juillet 1912).
— Principes de l'énergétique (*Journal de physique pure et appliquée,* 3e série, t. III, 1904).
LEHMEN. Lehrbuch der Philosophie, B. II. Cosmologie und Psychologie. Freiburg im Breisgau, Herder, 1911.
LEIBNIZ. Œuvres philosophiques. — Lettre écrite en 1693. — De la nature en elle-même.
— La monadologie.
LEMAIRE. Cosmologia seu philosophia mineralium. Mechliniæ, Dierickx-Beke, 1913.
LEMOINE. L'évolution de la chimie physique (*Revue des Questions scientifiques,* janvier 1913).
LESAGE ET PRESTON. *Phil. Mag.,* septembre et novembre 1877, février et mai 1878. — The Unseen Universe.
LESPIEAU. La molécule chimique. Paris, Alcan, 1920.
LIPPMANN. La théorie cinétique des gaz et le principe de Carnot (*Congrès international de physique,* 2e vol.).
LOCKYER (Sir). L'évolution inorganique. Paris, Alcan, 1905.
LODGE. La vie et la matière. Paris, Alcan, 1909.
LORENTZ. Beginselen der Natuurkunde, 2 vol. Leide, Brill, 1906.
— La gravitation (*Scientia,* avril 1914, vol. XVI, n. XXXVI-4.
— Mémoire lu à l'Académie des sciences d'Amsterdam, avril 1900.
LOTZE. Grundzüge der Naturphilosophie. Leipzig, 1889.
MABILLEAU. Histoire de la philosophie atomique. Paris, Alcan, 1895.
MACH. La mécanique. Paris, Hermann, 1904.
— Analyse der Empfindungen.
— La connaissance et l'erreur. Paris, Flammarion, 1908.
— Die Prinzipien der Wärmelehre. Leipzig, 1896.
MAGY. De la science et de la nature.
MANVILLE. Les découvertes modernes en physique. Paris, Hermann, 1909.

MARIE. Revue annuelle de chimie physique (*Revue générale des Sciences,* 31 mai 1911).
MARTIN. Philosophie spiritualiste de la nature.
MAUGUIN. La structure des cristaux déterminée au moyen des rayons X. Paris, Blanchard, 1924.
MAURAIN. Les états physiques de la matière. Paris, Alcan, 1910.
MAXWELL. La théorie de la chaleur. 1891.
— On action at a Distance (*Scientific Papers,* vol. II. Cambridge, 1890.
— *Nature,* mars 1875.
METZ. La relativité. Paris, Alcan, 1923.
MEYER (Lothar). Les théories modernes de la chimie. Paris, G. Carré, 1889.
MEYERSON. Identité et réalité. Paris, Alcan, 1912.
MICHELITSCH. Atomismus, Hylemorphismus und Naturwissenschaft. Graz, 1897.
MIELLE. De substantiæ corporalis vi et ratione. Lingonis, Rallet, 1894. — La matière première et l'étendue. (*Revue thomiste,* 1898, p. 763, vol. 6).
MOREUX. Le problème solaire. Paris, Bertaux, 1900.
NERNST. Traité de chimie générale, 2 vol. Paris, Hermann, 1911-1912.
NEWTON. Philosophiæ naturalis principia mathematica.
— Optices libri.
NYS. La notion de l'espace d'après les théories modernes depuis Descartes. Bruxelles, Hayez, 1907.
— Cosmologie, t. II, § Etude spéciale des propriétés. La quantité.
OREKHOFF. La théorie de l'affinité variable (*Rev. gén. des Sciences,* 15 mai 1923).
OSTWALD. Grundriss der Allgemeinen Chemie. Leipzig, Engelmann, 1898.
— L'évolution d'une science, la chimie. Paris, Flammarion, 1909.
— Eléments de chimie inorganique. Paris, Gauthier-Villars, 1904.
— L'énergie. Paris, Alcan, 1910.
— La déroute de l'atomisme (*Scientia,* t. I, 1907).
— Die Ueberwindung des wissenschaftlichen Materialismus. 1895.
— Vorlesungen über Naturphilosophie. Leipzig, Veit und Comp., 1902.
PALLAT. Le nouvel état de la matière (*Revue des Questions scientifiques,* avril 1905).

PALMIERI. Institutiones philosophicæ. Romæ, 1875.
PARODI. Science et philosophie (*Revue du Mois,* 10 janvier 1914).
PECHEUX. Détermination des poids atomiques et des poids moléculaires. Paris, Delagrave, 1913.
PERRIN. Traité de chimie physique. Paris, Gauthier-Villars, 1913.
— Les atomes. Paris, Alcan, 1924.
— Les preuves de la réalité moléculaire (*Les idées modernes sur la constitution de la matière.* Paris, Gauthier-Villars, 1913).
PESCH. Institutiones philosophiæ naturalis, vol. I. Friburgi Brisgoviæ, Herder, 1897.
PFAUNDLER. Lehrbuch der Physik. II. B. 1898.
PICARD. La Science moderne. Paris, Flammarion, 1911.
— De la Science (De la méthode dans les Sciences. Paris, Alcan, 1910).
PICART. Introduction aux principes mathématiques des lois générales du monde physique. Paris, Alcan, 1882.
PICTET. Etude critique du matérialisme et du spiritualisme. Paris, Alcan, 1896.
PLUCKER. (*Annales de chimie et de physique,* t. III).
POINCARÉ (H.). Science et méthode. Paris, Flammarion, 1909.
— La valeur de la science. Paris, Flammarion, 1908.
— La science et l'hypothèse. Paris, Flammarion, 1907.
— Sur la valeur de la science (*Revue de métaphysique et de morale,* mai 1902).
— Les hypothèses cosmogoniques. Paris, Hermann, 1911.
— Les rapports de la matière et de l'éther (*Les idées modernes sur la constitution de la matière.* Paris, Gauthier-Villars, 1913).
POINCARÉ (L.). La physique moderne, son évolution. Paris, Flammarion, 1909.
PROUMEN. La matière, l'éther, l'électricité, Paris, Desforges, 1909.
RAMSAY. La chimie moderne, 2 vol. Paris, Gauthier-Villars, 1909-1911.
RANKINE. Outlines of the Science of Energetics (*Proceedings of the philosophical society of Glascow,* III. 1848-1855).
REY. La théorie de la physique chez les physiciens contemporains. Paris, Alcan, 1907.
— La physique moderne. Paris, Flammarion, 1908.
— Les idées directrices de la physique mécaniste (*Revue philosophique,* avril 1912).
— L'énergétique et le mécanisme. Paris, Alcan, 1908.
— Les fondements objectifs de la notion d'électron (*Revue philosophique,* novembre 1913, février et avril 1914).

Reychler. Les théories physico-chimiques. Bruxelles, Lamertin, 1905.

Ribot. L'évolution des principaux concepts. Paris, Alcan, 1909.

Righi. La nature des rayons X (*Scientia,* vol. XV, n. 33-1, 1914).

— La théorie moderne des phénomènes physiques, radio-activité, ions, électrons. Paris, « L'éclairage électrique », 1906.

Ritter. Lehrbuch der technischen Mechanik. Leipzig, 1896.

Rivaud. Le problème du devenir et la notion de matière. Paris, Alcan, 1906.

Rougier. La matière et l'énergie. Paris, Gauthier-Villars, 1921.

Rutherford et Royds. Le radium. 1909.

Saigey. La physique moderne.

Salet. Spectroscopie astronomique. Paris, Doin, 1909.

Schaaf. Institutiones cosmologicæ. Romæ, 1907.

Schiller. Etudes sur l'humanisme. Paris, Alcan, 1909.

Schneid. Naturphilosophie. Paderborn, Schöningh, 1899.

Schutzenberger. Chimie générale, t. VII. Paris, Hachette, 1894.

Secchi. Unité des forces physiques. Paris, Savy, 1869.

Soddy. Radioactivité (*Les progrès de la chimie en 1912.* Paris, Hermann, 1913).

— Chimie des radio-éléments. 1914.

— Le Radium, Paris, Alcan, 1921.

Solet. Dynamique chimique (*Dictionnaire de Wurtz,* 2e supplément).

Spencer. Les premiers principes. Paris, Schleicher, 1902.

— Contemporary Review, juin, 1872.

Spiegel. (*Zeitschrift für anorganische Chemie.* T. 29).

Stallo. La matière et la physique moderne.

Stas. Recherches sur les rapports des poids atomiques (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique,* 2e série, t. X, 1860).

Taine. De l'intelligence. Paris, Hachette, 1878.

Tait. Esquisse historique de la théorie dynamique de la chaleur. Paris, Gauthier-Villars, 1870.

Thomas (S.). Summa theologica. Ia P.

Thomsen. Thermochemische Untersuchungen. B. IV. Leipzig. 1886.

— (*Zeitschrift für physikalische Chemie,* 1887).

Thomson (Sir). L'analyse chimique par les rayons positifs (*Revue générale des Sciences,* 30 septembre 1911).

Thomson (W.) Lord Kelvin). Conférences scientifiques, Paris, Gauthier-Villars, 1890.

— Papers on Electrostatics. Londres, 1872.

Tongiorgi. Cosmologia.

TYNDALL. La lumière. Paris, Gauthier-Villars, 1872.
— La chaleur comme mode de mouvement. Paris, Gauthier-Villars, 1872.
UBAGHS. Du dynamisme. Louvain, 1861.
URBAIN. Les notions fondamentales d'élément chimique et d'atome. Paris, Gauthier-Villars, 1925.
URBAIN et SÉNÉCHAL. Introduction à la chimie des complexes. Paris, Hermann, 1913.
VAN 'T HOFF. La chimie physique et ses applications. Paris, Flammarion, 1903.
VERDET. Théorie mécanique de la chaleur, t. I.
VÉRONNET. L'atome nécessaire (*Revue de philosophie,* octobre 1909).
VIGNON. La notion de force, le principe de l'énergie et la biologie générale. Paris, 1900.
WALLERANT. Cristallographie. Paris, Béranger, 1909.
WEIS. Les moments magnétiques des atomes et le magnéton (*Les idées modernes sur la constitution de la matière.* Paris, Gauthier-Villars, 1913).
— Le magnéton (*Revue générale des Sciences,* janvier 1914).
WILLEMS. Institutiones philosophicæ, vol. II. Treviris, off. ad S. Paulum, 1906.
WINDELBAND. Geschichte der neueren Philosophie. I. B. Leipzig, Breitkopf, 1899 .
WOLF. Les hypothèses cosmogoniques. Paris, Gauthier-Villars, 1886.
WUNDT. Système de philosophie, 3e édit. 1907. Leipzig.
WURTZ. Dictionnaire de chimie, I vol., 2e supplément.
— La théorie atomique.

TABLE DES MATIERES

Avertissement V
Préface VII

AVANT-PROPOS

La constitution physique de la matière d'après les physiciens modernes

ARTICLE PREMIER

La réalité de l'atome chimique

N°s Pages
1. L'atome est-il une réalité ? 2

ARTICLE II

La constitution de l'atome chimique

2. L'atome est un être complexe. La théorie électronique 4
3. Faits qui révèlent la complexité de l'atome chimique 4
4. Quels sont les constituants atomiques dont on a observé la séparation, dans les phénomènes radioactifs ? 5
5. Radioactivité et rayons cathodiques 7
6. Classification des substances radioactives en familles 8
7. Classification des substances radioactives en groupes d'isotopes 10
8. Quels sont les caractères généraux de la radioactivité ? 12
9. Eléments constitutifs de l'atome chimique 13
10. Relation entre les deux constituants de l'atome 14
11. Nombre atomique. Son importance 15
12. L'isotopie : la raison explicative de ce fait 16
13. Quelle est, d'après la théorie moderne, la structure de l'atome ? 17
14. Tout corps est constitué, en dernière analyse, de deux éléments constitutifs : le proton et l'électron. Quelles sont les assises de cette conception moderne ? 18
15. La portée cosmologique de cette conception de la matière 20
16. Unité réelle de l'atome 20
17. Matérialité du proton 20
18. Matérialité de l'électron 21
19. Mode de présence de ces deux constitutifs dans l'atome 22
20. L'atome chimique et le magnéton 22

N°s Pages

21. Que faut-il penser de cette théorie ? 24
22. L'atome chimique et les atomes d'énergie 24
23. Quelle est la valeur de cet atome d'énergie ? 25
24. Opinion des physiciens sur cette théorie 25

ARTICLE III

Les propriétés de la matière

25. Le rôle de l'électron 28

INTRODUCTION

26. Définition 32
27. Objet matériel de la cosmologie 32
28. Comment déterminer l'objet formel de la cosmologie ? 33
29. Objet formel des sciences qui étudient le monde inorganique : physique, cristallographie, minéralogie, chimie, géologie ... 34
30. Objet formel de la cosmologie 38
31. La cosmologie est une science spéciale, mais complémentaire des sciences physiques 40
32. Objet secondaire de la cosmologie 42
33. Définition défectueuse de la cosmologie 42
34. Division de la cosmologie 43

PREMIER TRAITÉ

LES PRINCIPES CONSTITUTIFS DU MONDE INORGANIQUE

NOTIONS PRELIMINAIRES

---

35. Méthode cosmologique 47
36. Quelle attitude la cosmologie doit-elle prendre à l'égard des théories physiques ? 48
37. Portée cosmologique des principales théories physiques 49
38. Origine de la vraie méthode cosmologique. D'où vient qu'elle fut généralement abandonnée ? 53
39. Exposé de certaines autres méthodes 54
40. Pourquoi nous ne pouvons nous rallier à cette méthode 54
41. Pourquoi joindre à l'exposé des faits la critique du mécanisme ? 57
42. Les systèmes 58

TOME I

Le mécanisme traditionnel, le néo-mécanisme, le mécanisme dynamique, le dynamisme et l'énergétisme

---

LIVRE PREMIER

Le mécanisme traditionnel

CHAPITRE PREMIER

Exposé et évolution historique de ce système

N°s		Pages
43.	Thalès	59
44.	Anaximandre	59
45.	Anaximène	59
46.	Héraclite	59
47.	Empédocle	60
48.	Anaxagore	60
49.	Démocrite	61
50.	Platon	62
51.	Epicure	63
52.	Epoque de transition	63
53.	Descartes	64
54.	Dernière évolution du mécanisme	66
55.	Deux sortes d'atomisme	66
56.	Atomisme chimique	67
57.	L'atomisme philosophique ou le mécanisme	69
58.	Importance du mécanisme	70
59.	Le double sens des termes « théorie mécanique »	75

CHAPITRE II

Examen du mécanisme traditionnel

ARTICLE PREMIER

Faits de l'ordre chimique

§ 1

Les poids atomiques

60.	Diversité et constance des poids atomiques	77
61.	Critique de l'explication mécanique	78
62.	Objection	80

§ 2

L'affinité chimique

N°s		Pages
63.	Notion de l'affinité	81
64.	Le dégagement de chaleur n'est pas une mesure adéquate de l'affinité	84
65.	Portée exacte du principe de Berthelot	85
66.	Vrai caractère de l'affinité	87
67.	Conception mécanique de l'affinité. Son insuffisance	87
68.	Objection	88
69.	Objection	89

§ 3

L'atomicité ou la valence

70.	Définition de l'atomicité	91
71.	Caractères scientifiques de l'atomicité	93
72.	Le mécanisme n'explique pas la constance relative de l'atomicité	95
73.	Deux applications de la conception mécanique	96
74.	Première application : la théorie des soudures. En quoi consiste-t-elle ?	97
75.	Conséquences philosophiques de la théorie des soudures	98
76.	Les formules de structure répondent-elles à la réalité ?	98
77.	Combinaison de molécules saturées	100

§ 4

La combinaison chimique

78.	Description d'une combinaison chimique	104
79.	Distinction entre la combinaison et le mélange	104
80.	Objection	106
81.	Premier signe de la combinaison. Les propriétés nouvelles du composé	107
82.	Deuxième signe de la combinaison. Les phénomènes thermiques. Explication mécanique de ces phénomènes	110
83.	Le mécanisme est incapable de rendre compte de la constance et de la spécificité des phénomènes thermochimiques	111
84.	Troisième signe de la combinaison. Les lois de poids	113

§ 5

La récurrence des espèces chimiques

85.	Exposé du fait	114
86.	Quelles sont les raisons explicatives de ce fait ?	114
87.	L'explication mécanique satisfait-elle à ces conditions ?	115
88.	Conclusion générale	116

ARTICLE II

Faits de l'ordre physique

§ 1

Faits cristallographiques

N°°		Pages
89.	La forme cristalline ; la structure intime du cristal	119
90.	La genèse de l'état cristallin	119
91.	Classification des formes cristallines	121
92.	Comment les formes d'un système dérivent-elles de la forme fondamentale ?	122
93.	Importance de la forme cristalline	123
94.	Isomorphisme	124
95.	Polymorphisme	125

§ 2

Le mécanisme en cristallographie

96.	Critique de l'interprétation mécanique	126

§ 3

Faits physiques proprement dits

97.	Poids spécifique	127
98.	Etat naturel des corps	127
99.	Phénomènes calorifiques	128
100.	Chaleur spécifique	128
101.	Point de fusion ou de vaporisation	130
102.	Chaleur latente de fusion et de vaporisation	131
103.	Conductibilité calorifique	131
104.	Pouvoir absorbant et émissif	131
105.	Phénomènes optiques. Réflexion régulière	131
106.	Réfraction simple	131
107.	Couleur	132
108.	Propriétés spectrales	132
109.	Rayonnement de Röntgen	134
110.	Propriétés acoustiques	135
111.	Propriétés électriques	135
112.	Propriétés magnétiques	136

§ 4

Le mécanisme en physique

113.	Conclusion générale	137
114.	Echec du mécanisme sur le terrain de la physique	138

ARTICLE III

Faits de l'ordre mécanique

§ 1

La théorie cinétique des gaz

N°s		Pages
115.	Exposé de la théorie	141
116.	Critique de cette théorie	142
117.	Echappatoire du P. Secchi	145

§ 2

La pesanteur

118.	Conception mécanique de la pesanteur	146
119.	L'hypothèse résout-elle le délicat problème de la pesanteur ? ...	148

§ 3

Le principe de la conservation de l'énergie

120.	Exposé du principe	153
121.	Conséquences de l'interprétation mécanique	156

ARTICLE IV

Le mécanisme au point de vue philosophique

122.	Propriétés mécaniques du mouvement	159
123.	Analyse métaphysique du mouvement local	159

§ 1

Premier principe mécanique : Le mouvement local est une force, une cause capable de produire un effet mécanique

124.	Illogisme du mécanisme	161
125.	Aucun des éléments constitutifs du mouvement ne répond à la notion de force	162
126.	Objection tirée de certains faits mécaniques	164
127.	Explication de ces faits	164
128.	Nécessité d'une qualité motrice	165
129.	Nouvelles instances	167

§ 2

Deuxième principe mécanique : Le mouvement est transmissible d'un corps à l'autre

130.	Première réfutation	169
131.	Deuxième réfutation	170
132.	Instance	170

§ 3

Troisième principe mécanique : Le mouvement local peut se transformer en chaleur, électricité, lumière, magnétisme, etc.

N°s Pages

133. Portée de cet adage. Phénomènes qui semblent le légitimer ... 171
134. Conditions d'une transformation 172
135. Aucun mouvement local n'est transformable 172

§ 4

Causes générales de l'échec du mécanisme

136. Première cause 174
137. Seconde cause 175
138. Troisième cause 176

LIVRE II

Le néo-mécanisme

ARTICLE PREMIER

Exposé de ce système

139. Idées essentielles de ce système 178
140. Différences entre le néo-mécanisme et le mécanisme traditionnel 180
141. Qu'y a-t-il de commun entre les deux systèmes ? 181
142. Origine de ce système 182
143. Partisans de ce système 183

ARTICLE II

Critique de ce système

144. En quel sens est-il admissible ? 185
145. Conséquences philosophiques naturelles de ce système. Première conséquence : exclusion réelle de la qualité du monde physique 185
146. Deuxième conséquence : homogénéisation de la matière 187
147. Troisième conséquence : exclusion de la vraie causalité 188
148. Conclusion 189

LIVRE III

L'atomisme dynamique

149. Exposé du système 190
150. Examen de l'atomisme dynamique. Premier principe : l'homogénéité de la matière 192

N°s Pages

151. Second principe de l'atomisme dynamique : toutes les forces corporelles sont exclusivement mécaniques 193
152. Conclusion 194

LIVRE IV

Arguments invoqués par le mécanisme traditionnel, le néo-mécanisme et l'atomisme dynamique

ARTICLE PREMIER

Arguments tirés de la physique

§ 1

L'équivalent mécanique de la chaleur et la loi de corrélation et d'équivalence des forces de la nature .

153. Exposé du fait : 1° L'équivalent mécanique de la chaleur 196
154. 2° Extension de la loi de corrélation 198
155. Argument tiré de ce double fait 198
156. Critique de cette preuve : 1° L'équivalent mécanique de la chaleur 199
157. Opinion des physiciens 201
158. 2° La loi de corrélation et d'équivalence 202
159. Opinion des physiciens modernes sur la transformation des forces 203
160. Quelle est la cause réelle de la loi de corrélation ?... 204

§ 2

Les phénomènes de radioactivité

161. Exposé de l'argument 206
162. Critique de cet argument. La validité de la théorie électronique 208
163. Cette théorie ne suppose nullement l'unité essentielle de la matière 208
164. La théorie électronique ne supprime pas la matière ordinaire ... 210
165. La théorie électronique ne nécessite pas la réduction de toutes les forces au mouvement local 212

§ 3

Le mouvement Brownien

166. Exposé et cause présumée du fait 214
167. Critique de cet argument 215
168. Instance 215
169. Critique 217

§ 4

Toutes les activités de la nature sont soumises aux mêmes lois physiques

170. Exposé 219
171. Critique 220

§ 5

a méthode physique et l'universalité du mouvement

N°s Pages

172. Exposé de cet argument 221
173. Critique de cet argument 222

ARTICLE II

Arguments tirés de la chimie

§ 1

Les poids atomiques. Hypothèse de Prout

174. Hypothèse de Prout 225
175. Critique de cet argument 226

§ 2

Les relations entre les poids atomiques et les propriétés physico-chimiques de la matière

176. Argument tiré du système périodique de Mendéléeff 228
177. Exposé de ce système 229
178. Système périodique rajeuni 232
179. Critique de cet argument 234

§ 3

L'analyse spectrale du monde stellaire

180. Exposé et interprétation mécanique du fait 235
181. Critique. L'évolution stellaire n'est pas un fait certain 236
182. Même si elle était prouvée, l'hypothèse d'une condensation progressive ne justifierait pas encore le mécanisme 239

§ 4

Faits d'allotropie

183. Caractère de ce phénomène 240
184. Examen de cette difficulté 241

LIVRE V

Le dynamisme

ARTICLLE PREMIER

Exposé du dynamisme

185. Système de Leibniz 243
186. Système de Kant 244
187. Système de Boscovich 245

N°s Pages

188. Système du P. Carbonnelle 246
189. Système de Hirn 247
190. Système du P. Palmieri 248
191. Conclusions générales 248

ARTICLE II

Critique du dynamisme

Première proposition :
il y a de l'étendue formelle dans le monde de la matière

192. Première preuve, tirée du témoignage de la conscience 250
193. Objection 251
194. Deuxième preuve, tirée de l'unité 252
195. Que penser de l'« étendue virtuelle » ? 252
196. Arguments des dynamistes contre l'étendue réelle 253

Deuxième proposition :
l'essence du corps ne consiste pas uniquement dans une force ou dans un ensemble de forces actives ; elle implique un élément passif

197. Objection du dynamisme 255
198. Critique 255

Troisième proposition :
l'action à distance est physiquement impossible

199. Sens de cette proposition 256
200. Les arguments « a priori » tendant à prouver l'impossibilité absolue de l'action à distance, paraissent insuffisants 256
201. L'hypothèse de l'action à distance est contredite par l'expérience 259
202. Accord de cette opinion avec les sciences modernes 260

LIVRE VI

L'énergétisme

ARTICLE PREMIER

Exposé de l'énergétisme

203. La crise du mécanisme prépare l'avènement de la théorie énergétique 263
204. Définition de l'énergétique 265
205. Différences entre l'énergétisme et le mécanisme. Première différence 266
206. Deuxième différence 267
207. Troisième différence 268

N°s Pages

208. Constitution de l'énergie 271
209. Les diverses formes de l'énergie 272
210. Définition scientifique de l'énergie 274
211. Définitions défectueuses de l'énergie 276
212. Principes de l'énergétique 278
213. Relation entre les principes de l'énergétique 279
214. Résumé de la théorie énergétique 281

ARTICLLE II

Examen philosophique de l'énergétisme

215. Premier avantage de cette théorie : restauration de la qualité dans le domaine scientifique 283
216. Deuxième avantage : avec raison, cette théorie se désintéresse de la substance 285
217. Défauts de l'énergétique : elle a tort de se désintéresser de la nature des phénomènes 286
218. Erreurs provenant d'une fausse interprétation de l'énergétique ; première erreur : la négation de la substance 290
219. Critique de ce phénoménalisme 290
220. Deuxième erreur : la négation de la matière 292
221. Critique de cette théorie. Sens vrai du mot « matière » 292
222. Sens du mot « énergie » 294
223. L'étude des faits permet de concilier l'énergie et la matière ... 295
224. L'énergétisme est un dynamisme exagéré 297
225. Critique du principal argument de M. Ostwald 299
226. Conclusions auxquelles conduit cet examen critique 301
227. Troisième erreur provenant d'une fausse conception de l'énergétique : conception moniste de l'univers 302
228. Fait dont se réclame ce monisme 303
229. Les physiciens considèrent-ils la transformation réciproque des énergies comme un fait indiscutable ? 303
230. La transformation réciproque des énergies est une hypothèse inintelligible 304
231. L'hypothèse des transformations énergétiques, fût-elle même fondée, n'emporterait pas encore avec elle la preuve du monisme 305
232. Origine de ce monisme 306
233. Relations entre l'énergétisme et le dynamisme ordinaire 307
234. Jugement général sur l'énergétique 309

Conclusion générale de ce traité 311
Bibliographie 315
Table des matières 325

GTU Library
3 2400 00264 4874

DATE DUE

GTU Library
2400 Ridge Road
Berkeley, CA 94709
For renewals call (510) 649-2500
All items are subject to recall

GAYLORD PRINTED IN U.S.A.

COURS DE PHILOSOPHIE

Vol. I. **Logique**, par D. MERCIER, 7e édition, 1922.
Vol. II. **Métaphysique générale ou Ontologie**, par D. MERCIER, 7e édition, 1923.
Vol. III. **Psychologie**, par D. MERCIER, 11e édition, 2 volumes, 1923.
Vol. IV. **Critériologie générale ou traité général de la certitude**, par D. MERCIER, 8e édition, 1923.
Vol. V. **Critériologie spéciale** (pas paru).
Vol. VI. **Histoire de la philosophie médiévale**, par M. DE WULF, 5e édition (2 volumes) :
Tome I. **Des origines jusqu'à Thomas d'Aquin.**
Tome II. **De Thomas d'Aquin jusqu'à la fin du moyen âge.**
Vol. VII. **Cosmologie ou Etude philosophique du monde inorganique**, par D. NYS, 4e édition, comprenant quatre tomes :
Tome I. **Le Mécanisme, le Néo-Mécanisme, le Mécanisme dynamique, le Dynamisme, l'Energétisme.** 1928.
Tome II. **La Théorie Scolastique.** 1928.
Ces deux tomes ne se vendent pas séparément.
Tome III. **La Notion de Temps**, 1925.
Tome IV. **La Notion d'Espace**, 1922 (relié).

Traité élémentaire de Philosophie

A L'USAGE DES CLASSES

édité par des Professeurs de l'Institut Supérieur de Philosophie
D. MERCIER — M. DE WULF — D. NYS

2 volumes, 7e édition, 1926. — Tome I : 696 pages ; Tome II : 590 pp.
Prix des 2 volumes : **42 francs.**

Revue Néo-Scolastique, n° de mai 1926, consacré entièrement à la personnalité et à la philosophie du Cardinal MERCIER.
Sommaire : Le philosophe et l'initiateur ; Le psychologue et le logicien ; Le métaphysicien ; Le moraliste ; L'esthéticien ; L'écrivain spirituel ; Bibliographie.

OUVRAGES DU CARDINAL MERCIER :

A mes Séminaristes, 13e édition, 1926.
Retraite Pastorale, 8e édition, 1926.
La Vie Intérieure, 14e édition, 1927.
Œuvres Pastorales : Actes, Allocutions, Lettres. Complet en 7 volumes.
La correspondance de S. E. le Cardinal Mercier avec le Gouvernement Général allemand pendant l'occupation 1914-1918.
Les origines de la Psychologie contemporaine. 3e éd. In-12, 1925.